

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-099639

(43)Date of publication of application : 13.04.2001

(51)Int.Cl.

G01B 21/20

G01B 7/00

G01B 21/00

(21)Application number : 2000-221243

(71)Applicant : MITSUTOYO CORP

(22)Date of filing : 21.07.2000

(72)Inventor : HIDAKA KAZUHIKO

SAITO AKINORI

OKAMOTO KIYOKAZU

(30)Priority

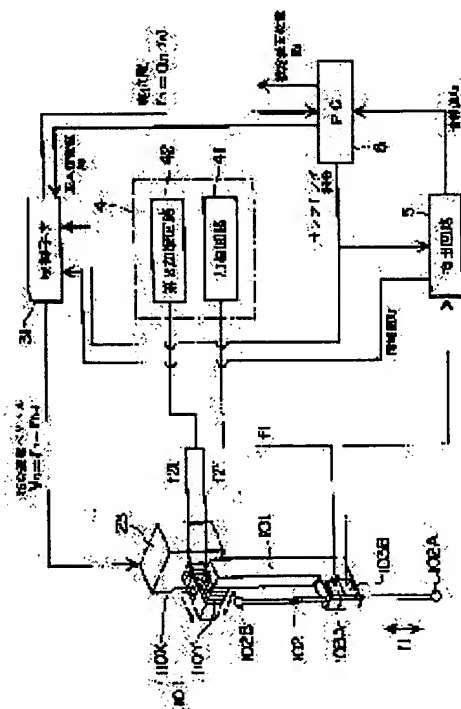
Priority number : 11209618 Priority date : 23.07.1999 Priority country : JP

(54) MEASUREMENT METHOD FOR SURFACE SHAPE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a measurement method for surface shape capable of avoiding the effect of converging time of every contact point of object to be measured in vibrator type contact detection, maintaining high measurement accuracy and raising work efficiency.

SOLUTION: A measurement method for surface shape includes a process that a touch signal probe 100 is moved to contact on the surface to be measured by the command of a command velocity vector V_n , a process that the distance to the surface to be measured is controlled so that the amplitude information value A_n of the detection signal outputted from a detection circuit 5 becomes a specified reference information value A_s , the touch signal probe 100 is moved along the surface to be measured and the surface to be measured is scanned so as to output the amplitude information value A_n and its corresponding actual position r_n , and a process that an estimated surface position R_n estimated to be obtained when it is scanned so that the amplitude information value A_n and its corresponding actual position r_n become constant is operated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

22.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

- [Claim 1] The base material which exercises the inside of three-dimensions space by the predetermined instruction velocity vector by the instructions from the outside. Stylus which has the contact section which is supported by this base material and contacts a device under test. An excitation means to resonate the aforementioned stylus on frequency f_1 to shaft orientations. A detection means to detect change of vibration of the aforementioned stylus by this excitation means. It is the surface type-like measuring method equipped with the above. by instructions of the aforementioned instruction velocity vector The process contacted on the front face which should be made to move the aforementioned contact detection probe and should measure the aforementioned device under test, Controlling distance with the aforementioned front face which should carry out measurement so that the amplitude information value A_n of the aforementioned detecting signal outputted from the aforementioned detector turns into the predetermined criteria information value A_s The process which scans the aforementioned front face which should carry out measurement with moving the aforementioned contact detection probe along the aforementioned front face which should carry out measurement, and outputting the real position r_n corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n and this, It is characterized by including the process which calculates the presumed surface position R_n presumed to be obtained when it scans so that the real position r_n corresponding to this to the aforementioned amplitude information value A_n and the aforementioned amplitude information value A_n may become fixed.
- [Claim 2] The aforementioned instruction velocity-vector V_{n+1} in the process which carries out the aforementioned scan in a surface type-like measuring method according to claim 1 is a surface type-like measuring method characterized by what it opts for by supposing that it is equivalent to the doubled value proportionality-constant k about the scalar of the outer product of the last value V_n and V_{n+1} concerned to the difference of the aforementioned amplitude information value A_n and the aforementioned criteria information value A_s .
- [Claim 3] The aforementioned presumed surface position R_n calculated in a surface type-like measuring method according to claim 1 or 2 at the aforementioned process which carries out an operation After deciding the following fruit position r_{n+1} to the aforementioned real position r_n , make the aforementioned real position r_n into the starting point, and in the size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n the above -- a degree -- real -- position r_{n+1} and one before -- real -- the surface type-like measuring method characterized by being the position amended by the sense which intersects perpendicularly with the straight line which connects position r_{n-1}
- [Claim 4] The aforementioned presumed surface position R_n which calculates at the aforementioned process which carries out an operation in a surface-type-like measuring method according to claim 1 or 2 is the surface-type-like measuring method which makes the aforementioned real position r_n the starting point, and is characterized by to be a size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n , and to be the position amended by the sense which intersects perpendicularly with the straight line which connects fruit position r_{n-1} in front of the aforementioned real position r_n and one.
- [Claim 5] The aforementioned presumed surface position R_n calculated in a surface type-like measuring method according to claim 1 or 2 at the aforementioned process which carries out an operation The surface type-like measuring method which makes the aforementioned real position r_n the starting point, and is characterized by being the position amended by the sense of the perpendicular taken down from the aforementioned real position r_n to the curve specified at least according to three points of fruit position r_{n+1} of the aforementioned real position r_n and this near, and r_{n-1} in the size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n .
- [Claim 6] The aforementioned presumed surface position R_n calculated at the aforementioned process which carries out an operation in a surface type-like measuring method given in any of a claim 3 - a claim 5 they are is a surface type-like measuring method characterized by seasoning further the size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n with the amount D of offset to the stylus shaft of the contact section of the aforementioned

stylus.

[Claim 7] In a surface type-like measuring method given in any of a claim 1 - a claim 6 they are, the scan to the aforementioned front face which should carry out measurement is completed previously. The real position r_n corresponding to all required aforementioned amplitude information value A_n and this required about the aforementioned front face is memorized one by one to the meantime. The surface type-like measuring method characterized by performing the aforementioned operation from the information value groups A_0 - A_m memorized after this and the real position groups r_0 - r_m corresponding to this, and obtaining the presumed surface position groups R_0 - R_m .

[Claim 8] In a surface type-like measuring method given in any of a claim 1 - a claim 7 they are the aforementioned contact detection probe Furthermore, have the 2nd excitation means which resonates the aforementioned stylus on frequency f_2 in the axial intersection direction, and it sets at the aforementioned process which carries out a scan. The surface type-like measuring method characterized by latching the amplitude information value A_n of the aforementioned detecting signal outputted from the aforementioned detector when a predetermined phase has vibration by the excitation means of the above 2nd, and controlling this latched amplitude information value A_n as compared with the aforementioned criteria information value A_s .

[Claim 9] It is the surface type-like measuring method characterized by carrying out the abbreviation rectangular cross with the move direction of the aforementioned base material in the aforementioned process which carries out a scan while the direction of vibration of the aforementioned stylus by the excitation means of the above 2nd carries out an abbreviation rectangular cross in a surface type-like measuring method according to claim 8 at the shaft orientations of the aforementioned stylus.

[Claim 10] It is the surface type-like measuring method characterized by setting for a surface type-like measuring method given in any of a claim 1 - a claim 8 they are, and for the aforementioned base material having a posture operation means to make the aforementioned contact detection probe rotate and incline into an arbitrary posture, and operating the posture of the aforementioned contact detection probe according to the configuration of the aforementioned device under test.

[Claim 11] The surface type-like measuring method characterized by operating the aforementioned posture operation means so that the direction of vibration of the aforementioned stylus by the excitation means of the above 2nd may turn into the direction of a normal of the front face of the aforementioned device under test where the aforementioned contact section contacts in a surface type-like measuring method according to claim 10.

[Claim 12] Vibration of the aforementioned stylus according [on a surface type-like measuring method given in any of a claim 8 - a claim 11 they are and] to the excitation means of the above 2nd is a surface type-like measuring method characterized by the linear thing.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to improvement in the measurement efficiency at the time of using the contact detection probe of a supersonic oscillation formula especially, and precision about the surface type-like measuring method which measures the shape of surface type of a device under test with the contact process probe attached in the three dimensional measurer etc.

[0002]

Background of the Invention] The height gage (single dimension measuring instrument), the three dimensional measurer, and the profile measuring instrument are known as measuring equipment which performs measurement of the configuration of a device under test, or a size. In order to detect the physical relationship of the main part of measuring equipment, and a device under test, various probes are used for such measuring equipment. These probes are classified into a non-contact formula probe, a contact process probe, a continuous measurement probe, a contact detection probe (touch trigger probe), etc. And as a contact detection probe for three dimensional measurers, the ultrasonic formula touch signal probe indicated by JP,6-221806,A is known.

[0003] The touch signal probe indicated by the aforementioned official report is constituted including the stylus which has the contact section in contact with a device under test at a nose of cam, the stylus electrode holder which supports this stylus, an excitation means to resonate stylus to shaft orientations, and a detection means to detect change of vibration of the stylus by this excitation means. If according to such a touch signal probe a point is contacted to the end face of a device under test where stylus is vibrated by the excitation means, since the state of vibration of stylus will change with contact force, the end-face position of a device under test is detectable by detecting this change by the detection means.

[0004] Since the diameter of a stoma etc. is measured using such an ultrasonic formula touch signal probe, in order to make a stoma etc. measurable, the touch signal probe shown in Japanese Patent Application No. No. 220474 [ten to] as an ultrasonic formula touch signal probe with which the miniaturization was attained is proposed. As shown in drawing 12 , this touch signal probe 100 is equipped with the stylus electrode holder 101, stylus 102, excitation means 103A, and detection means 103B. While contact section 102A in contact with a device under test is prepared at the nose of cam of stylus 102, counterbalance 102B is prepared in the end face, and let the shaft-orientations mid gear of stylus 102 be a center-of-gravity position. And if stylus 102 is vibrated to shaft orientations, the paragraph of vibration will serve as this center-of-gravity position.

[0005] Such a touch signal probe 100 doubles contact section 102A with this stylus 102, and constitutes it from a spherule of a minor diameter while it constitutes stylus 102 from a narrow cylindrical member, in order to enable stoma measurement. Moreover, since the stylus electrode holder 101 is difficult, supporting such narrow stylus 102 by one place is supporting it stylus 102 by two places across the center-of-gravity position of stylus 102.

[0006] Excitation means 103A and detection means 103B halve the piezoelectric device 103 arranged so that two supporting section of the stylus electrode holder 101 may be straddled, and are constituted. And if stylus 102 is resonated in accordance with shaft orientations by excitation means 103A, the paragraph of vibration will be produced in the center-of-gravity position of stylus 102, and let supporting section of the stylus 102 of the stylus electrode holder 101 be the position which sandwiches the paragraph of this vibration.

[0007] According to such a touch signal probe 100, since the stylus electrode holder 101 is supporting stylus 102 by two places on both sides of the paragraph of vibration, even if it constitutes stylus 102 from a narrow cylindrical member extremely, it can be made to be able to support with the stylus electrode holder 101, and inside measurement of the large stoma which is an aspect ratio etc. can be performed.

[0008] On the other hand, the method (tapping method) which performs contact to the front face of a device under test

by oscillating operation is also developed (Japanese Patent Application No. No. 96377 [11 to] etc.). This method prepares the 2nd excitation means in the stylus electrode holder 101 mentioned above, vibrates stylus 102 by this excitation means, and vibrates contact section 102A at the nose of cam in the direction which carries out contiguity isolation to a device under test. According to such a tapping method, even if the rigidity of stylus 102 is small, length **** (agglutination phenomenon) by the device under test is avoidable because contact section 102A carries out contiguity isolation to a device under test even if it moves stylus 102 along the front face of a device under test and measures the shape of surface type continuously. Therefore, there are effects, like improvement in the working efficiency by continuous measurement can be aimed at, maintaining high degree of accuracy.

[0009]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in the touch signal probe of a supersonic oscillation formula mentioned above, the timing which outputs the trigger of contact detection influences the accuracy of measurement. That is, if the stylus which vibrates by the excitation means approaches a device under test and the contact section contacts on the surface of a device under test, vibration will begin to be suppressed for contact at the ***** time. and -- further -- approaching -- a certain amount of contact pressure -- with, vibration of stylus is further suppressed because the contact section and the front face of a device under test contact Under the present circumstances, since there is a correlation in the forcing state over the front face of a device under test, and the suppression state of vibration, the output signal of a detection means is supervised, if it judges that suppression of vibration reached predetermined level, the indentation of the stylus to a device under test will become fixed, and the exact position detection of it will be attained.

[0010] however -- if position measurement of one point of the front face of a device under test is made to carry out contiguity isolation of the stylus until it is completed as a predetermined state by the vibrational state of stylus in the position -- detecting -- etc. -- a repetitive job is required Especially, continuous measurement of the front face of a device under test etc. has a possibility that the sum total of working hours may become huge, in inspecting many points. Although the grade which is not made to converge the vibrational state of stylus strictly in the position in the case of position measurement of each point of a device under test, but is converged even within the limits of predetermined on the other hand at it, then working hours can be shortened, they bring a result which is naturally inferior in the accuracy of measurement in this case.

[0011] It is to offer the surface type-like measuring method which has working efficiency raised, the purpose of this invention avoiding the influence of the convergence time for every point of contact of the device under test in contact detection of an oscillating type, and maintaining the accuracy of measurement highly.

[0012]

[Means for Solving the Problem] this invention notes that the complicatedness which stylus was moved to the position where the vibrational state of stylus will be in a predetermined state, and the conventional oscillating-type contact detection was computing the contact position by having read the stylus positional information in this position, and makes carry out contiguity isolation of the stylus finely for this reason had become convergence time. And stylus shall not be made to actually settle in a predetermined position, but the information from the detection means acquired in near and the information on the predetermined position which should have been made to settle down conventionally from the positional information of stylus shall be calculated, and it enables it to measure the position of the front face of a device under test often [precision] and efficiently by this.

[0013] The base material which specifically exercises the inside of three-dimensions space by the predetermined instruction velocity vector by the instructions from the outside, The stylus which has the contact section which is supported by this base material and contacts a device under test, The contact detection probe equipped with an excitation means to resonate the aforementioned stylus on frequency f1 to shaft orientations, and a detection means to detect change of vibration of the aforementioned stylus by this excitation means is used. It is the surface type-like measuring method which measures the shape of surface type of the aforementioned device under test from the position of the base material at the time of the aforementioned contact section contacting the front face of the aforementioned device under test. by instructions of the aforementioned instruction velocity vector The process contacted on the front face which should be made to move the aforementioned contact detection probe and should measure the aforementioned device under test, Controlling distance with the aforementioned front face which should carry out measurement so that the amplitude information value An of the aforementioned detecting signal outputted from the aforementioned detector turns into the predetermined criteria information value As The process which scans the aforementioned front face which should carry out measurement with moving the aforementioned contact detection probe along the aforementioned front face which should carry out measurement, and outputting the real position rn corresponding to the aforementioned amplitude information value An and this, It is characterized by including the process which calculates the presumed surface position Rn presumed to be obtained when it scans so that the real

position r_n corresponding to this to the aforementioned amplitude information value A_n and the aforementioned amplitude information value A_n may become fixed.

[0014] As a contact detection probe, the touch signal probe of a supersonic oscillation formula mentioned above can be used. Stylus should just be taken as the structure supported through the stylus electrode holder connected to the base material. As an excitation means, the existing drive elements, such as a piezoelectric device, can use suitably. In order to operate this excitation means, you may connect a power supply and a drive circuit outside. A piezoelectric device can also constitute a detection means and the existing composition, such as structure united with the excitation means, can adopt suitably. The drive of a base material may be dependent on the existing three dimensional measurer, and operation should just be made to be performed based on the instruction program performed by an external controller or an external computer system. The operation of collection of the amplitude information value A_n from a detection means, control in alignment with the criteria information value A_s , and the presumed surface position R_n etc. can be performed by the controller or computer system of these exteriors. Collection of the amplitude information value A_n in the process to scan and the real position r_n and the operation of the presumed surface position R_n may be performed in parallel, and you may perform each process one by one so that it may mention later. While detecting r_n position as carrying out in parallel, it means [calculating amplitude information value A_{n-2} in front of a number step, and fruit position r_{n-2} to presumed surface position R_{n-2} by the external computer etc., etc. and].

[0015] In such composition, after contacting stylus on the surface of a device under test, the amplitude information value A_n of each point and the real positions r_n are collected by the scan of the aforementioned front face, and the presumed surface position R_n of each point calculates from these. Under the present circumstances, although stylus has distance with a front face controlled so that the amplitude information value A_n of each point turns into the criteria information value A_s , it does not stop at each point until it is completed as the criteria information value A_s by the amplitude information value A_n , and does not take convergence time like before. On the other hand, the presumed surface position R_n of each point can draw the real position r_n with an amended type with the amplitude information value A_n , and even if stylus does not arrive at the position of the amplitude information value $A_n =$ criteria information value A_s , it can acquire an exact value.

[0016] As for the aforementioned instruction velocity-vector V_{n+1} in the aforementioned process which carries out a scan, in this invention, it is desirable to be determined by making the scalar of the outer product of the last value V_n and V_{n+1} concerned equivalent to the value doubled proportionality-constant k to the difference of the aforementioned amplitude information value A_n and the aforementioned criteria information value A_s . If it does in this way, control to which stylus is moved so that the amplitude information value A_n mentioned above may approach the criteria information value A_s can be performed simply and appropriately.

[0017] The aforementioned presumed surface position R_n calculated in this invention at the aforementioned process which carries out an operation the aforementioned real position r_n -- receiving -- a degree -- real -- the size corresponding to [after deciding position r_{n+1} , make the aforementioned real position r_n into the starting point, and] the aforementioned amplitude information value A_n -- the above -- a degree -- real -- position r_{n+1} and one before -- real -- it can consider as the position amended by the sense which intersects perpendicularly with the straight line which connects position r_{n-1} . If it does in this way, the presumed surface position R_n can be obtained with a sufficient precision by the easy operation.

[0018] Moreover, the aforementioned presumed surface position R_n calculated at the aforementioned process which carries out an operation makes the aforementioned real position r_n the starting point, is a size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n , and can make it the position amended by the sense which intersects perpendicularly with the straight line which connects fruit position r_{n-1} in front of the aforementioned real position r_n and one. If it does in this way, since the following fruit position r_{n+1} is unnecessary, data processing of the detection data can be carried out immediately.

[0019] Furthermore, the aforementioned presumed surface position R_n which calculates at the aforementioned process which carries out an operation makes the aforementioned real position r_n the starting point, is a size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n , and can make it the position amended by the sense of the perpendicular taken down from the aforementioned real position r_n to the curve specified at least according to three points of fruit position r_{n+1} of the aforementioned real position r_n and this near, and r_{n-1} . If it does in this way, the high presumed surface position R_n of precision can be obtained more.

[0020] As for the aforementioned presumed surface position R_n calculated at the aforementioned process which carries out an operation, in this invention, it is desirable to season further the size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n with the amount D of offset to the stylus shaft of the contact section of the aforementioned stylus. The amount D of offset is given in the radius etc., if the contact section of stylus is spherical. I hear that these consider the distance of an actual contact position to a stylus shaft position, and there are.

[0021] In this invention, it is desirable to perform the aforementioned operation from the information value groups A0-Am which complete previously the scan to the aforementioned front face which should carry out measurement, memorize the real position rn corresponding to all required aforementioned amplitude information value An and this required about the aforementioned front face one by one to the meantime, and were memorized after this, and the real position groups r0-rm corresponding to this, and to obtain the presumed surface position groups R0-Rm. Memorizing the amplitude information value An and the real position rn corresponding to this one by one should just use suitably the computer system of the exterior mentioned above etc. Since it is good, operation in each can be adjusted so that it may become the fastest without being able to make control simpler than the case where it carries out in parallel and taking mutual timing of operation into consideration, since the information values A0-Am, the scanning process which detects the real positions r0-rm, and the operation process which calculates the presumed surface position groups R0-Rm can be performed one by one separately, if it does in this way.

[0022] In the process which the aforementioned contact detection probe is equipped with the 2nd excitation means which resonates the aforementioned stylus on frequency f2 in the axial intersection direction further in this invention, and carries out the aforementioned scan When a predetermined phase has vibration by the excitation means of the above 2nd, the amplitude information value An of the aforementioned detecting signal outputted from the aforementioned detector shall be latched, and this latched amplitude information value An shall be controlled as compared with the aforementioned criteria information value As. If it does in this way, in the tapping method which mentioned this invention above, it is realizable.

[0023] Under the present circumstances, it is desirable to carry out the abbreviation rectangular cross with the move direction of the aforementioned base material in the aforementioned process which carries out a scan while the direction of vibration of the aforementioned stylus by the excitation means of the above 2nd carries out an abbreviation rectangular cross at the shaft orientations of the aforementioned stylus. Whenever it does in this way, tapping can be given in the abbreviation right-angled direction to the measurement front face of a device under test.

[0024] It sets to this invention, and the aforementioned base material has a posture operation means to make the aforementioned contact detection probe rotate and incline into an arbitrary posture, and you may make it operate the posture of the aforementioned contact detection probe according to the configuration of the aforementioned device under test. Even when the measurement front face of the aforementioned device under test and the shaft of the aforementioned contact detection probe can be carried out in parallel and the measurement front face of the aforementioned device under test is carrying out the inclination etc. by this, implementation of the measurement based on this invention can be performed easily.

[0025] under the present circumstances, the thing for which the aforementioned posture operation means is operated so that the direction of vibration of the aforementioned stylus by the excitation means of the above 2nd may turn into the direction of a normal of the front face of the aforementioned device under test where the aforementioned contact section contacts -- things are desirable Thereby, even when the measurement front face of the aforementioned device under test is carrying out the inclination etc., tapping of the direction of a normal can perform more exact measurement.

[0026] In addition, if in charge of operation of the posture of a contact detection probe, the information about the measurement front face of a device under test is needed. In advance of the measurement based on this invention, this information may perform two or more position measurement on the front face of measurement of a device under test, and may deduce the configuration on the front face of measurement, or may use, the design data, for example, the CAD data, of a device under test.

[0027] In this invention, vibration of the aforementioned stylus by the excitation means of the above 2nd has a linear desirable thing. thus -- if it carries out -- this invention **** -- suitable tapping operation is realizable

[0028]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, one gestalt of operation of this invention is explained based on a drawing. in addition -- the same as that of the portion or member already explained by the following explanation, or an analogous portion -- the same sign -- giving -- the explanation -- an ellipsis -- or it carries out simple The inside-and-outside side measuring device which built the surface type-like measuring method concerning the 1st operation gestalt of this invention into drawing 1 and drawing 2 is shown.

[0029] The inside-and-outside side measuring device 1 is constituted including the main part 2 of a measuring instrument, a controller 3, the drive circuit 4, a detector 5, and a personal computer 6. The drive circuit 4 is for vibrating the touch signal probe 100 in the direction which intersects perpendicularly with the shaft orientations and the shaft of stylus, and a detector 5 is a portion which processes the electrical signal from the detection means prepared in stylus, and is outputted to a controller 3. Moreover, a personal computer 6 performs data processing of the information from the control means 31 of a detector 5 or a controller 3, and evaluates the roundness of Work W etc. while it outputs

a control signal to a controller 3 and performs motion control of the main part 2 of a measuring instrument.

[0030] The main part 2 of a measuring instrument installs Work W, measures the shape of surface type, and is constituted including the XYZ table 21 on which this work W is installed, the support 22 set up by the edge of this XYZ table 21, the base material 23 prepared in the extension direction of this support 22 free [sliding], and the touch signal probe 100 supported by this base material 23. By drawing 1, the XYZ table 21 is equipped with the X-axis adjustment mechanism and Y-axis adjustment mechanism to which Work W is moved along the field of the XYZ table 21, and the Z-axis adjustment mechanism in which Work W is moved in the direction of a normal of the field of the XYZ table 21, in order that the bottom of abbreviation of illustration may install Work W in a position. And after installing Work W in the XYZ table 21, these axial adjustment mechanisms are operated and exact positioning of this work is performed.

[0031] A base material 23 is equipped with the X-axis drive and Y-axis drive to which the bottom of abbreviation of illustration moves the touch signal probe 100 along the field of the XYZ table 21, and the Z-axis drive to which a base material 23 is moved up and down along with a support 22 by drawing 1, and motion control of these axial drives is carried out by the controller 3 mentioned later. A controller 3 is a portion which carries out motion control of the base material 23, and is equipped with control means 31 and the evasion means 32.

[0032] Control means 31 perform motion control of the base material 23 of the main part 2 of a measuring instrument based on the instructions from a personal computer 6. Control means 31 send the instruction velocity vector V_n for move operation to the axial drive of a base material 23, and the axial drive of a base material 23 performs movement based on this instruction velocity vector V_n . The criteria information value A_s is sent to control means 31 from a personal computer 6 at the time of an operation start etc. Control means 31 carry out the monitor of the amplitude information value A_n from a detector 5 during operation of a base material 23, they set up the instruction velocity vector V_n so that this amplitude information value A_n may approach the criteria information value A_s , and they control movement of a base material 23. The evasion means 32 stops the motion control by control means 31, when the detecting signal from a detector 5 cannot maintain a predetermined value, and the move direction of the touch signal probe 100 by the control means 31 till then is a portion which outputs the control signal which moves a base material 23 to opposite direction. By this evasion means 32, the touch signal probe 100 will be in Work W and a non-contact state, and the injury by excessive contact force will be prevented.

[0033] As shown in drawing 2, the touch signal probe 100 is equipped with the stylus electrode holder 101, stylus 102, contact section 102A, counterbalance 102B, excitation means 103A, and detection means 103B. And between the stylus electrode holders 101 supported by a base material 23 and this base material 23, a 2nd excitation means 110 to vibrate stylus 102 in the direction which intersects perpendicularly with the shaft of this stylus 102 is established. In addition, in order to vibrate this stylus 102 in the arbitrary directions within the flat surface which intersects perpendicularly with the shaft of stylus 102, the 2nd excitation means 110 is equipped with X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y which makes it vibrate in the direction which intersects perpendicularly mutually, and X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y is arranged in series between the stylus electrode holder 101 and the base material 23.

[0034] The drive circuit 4 excitation means 103A is a portion which reaches and gives an electrical signal to the 2nd excitation means 110 on predetermined frequency, reaches excitation circuit 41 and consists of 2nd excitation circuits 42. The excitation circuit 41 is equipped with the transmitter which generates an electrical signal with which excitation means 103A operates on a predetermined amplitude and predetermined frequency, and, thereby, stylus 102 vibrates to shaft orientations on frequency f_1 .

[0035] The 2nd excitation circuit 42 is equipped with the transmitter which generates an electrical signal which operates X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y mentioned above on a predetermined amplitude and predetermined frequency. In addition, this transmitter can adjust [that it is independent and] the amplitude of the electrical signal of each excitation elements 110X and 110Y, although X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y is operated synchronously. And by giving the electrical signal with which amplitude differs to each excitation elements 110X and 110Y, stylus 102 vibrates in the arbitrary directions and stylus 102 vibrates by synchronizing vibration of both the excitation elements 110X and 110Y in the arbitrary directions which intersect perpendicularly with the shaft of stylus 102 on frequency f_2 .

[0036] The detecting signal (amplitude information value A_n) from a detector 5 is inputted into the personal computer 6. The sampling signal of a predetermined period is outputted to the detector 5 from the personal computer 6, and a detector 5 outputs the amplitude information value A_n at the time of this sampling signal being sent. Moreover, the current position (real position r_n) is inputted into the personal computer 6 from control means 31. The same sampling signal as those for detectors 5 which were mentioned above is sent to control means 31, and control means 31 output the real position r_n corresponding to the amplitude information value A_n outputted from the detector 5 mentioned

above to a personal computer 6. Furthermore, two or more data sets of the amplitude information value A_n mentioned above and the real position r_n are memorized in the personal computer 6, and the calculation function which carries out data processing of these and asks for the presumed surface position R_n is set to it by software.

[0037] Next, the case where configuration measurement on the front face $W1$ of inner circumference of the work W as shows operation of the bore measuring device 1 concerning the 1st operation gestalt mentioned above to drawing 3 is performed is explained.

(1) As shown in drawing 3, acquire the position coordinate of the center O_w of inner circumference, and the radius R_w of **** by performing tripartite measurement beforehand or using CAD data etc.

(2) Set the circle $S1$ only with δr smaller than a radius R_w as control means 31 as fundamental tracing of contact section 102A of operation in consideration of an amplitude by the 2nd excitation means 110 of stylus 102. Specifically based on the angle θ from the measurement start point $P0$ in drawing 3, and radius $R_w - \delta r$, motion control of contact section 102A is performed. since [in addition,] the amplitude of vibration which intersects perpendicularly with the shaft of the stylus 102 by the excitation means 2 is very minute -- this δr -- the radius of contact section 102A -- abbreviation -- even if it considers an equal value, it does not interfere in practice

[0038] (3) Set up the electrical signal of the 2nd excitation circuit 42 as a function of the aforementioned angle θ , and operate X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y which constitutes the 2nd excitation means 110 so that vibration by the 2nd excitation means 110 of stylus 102 may serve as the direction of a normal of the medial surface on the front face $W1$ of inner circumference. The direction to which the central point O and the measurement start point $P0$ of a circle $S1$ are connected is specifically made into the oscillating direction of X-axis excitation element 110X. If frequency according the maximum force of the direction which intersects perpendicularly with the shaft of the stylus 102 of X-axis excitation element 110X and Y-axis excitation element 110Y to F and the 2nd excitation circuit is set to $f2$ The force F_x of X shaft orientations by X-axis excitation element 110X and the force F_y of Y shaft orientations by Y-axis excitation element 110Y are set up as the following functions.

$F_x = F \cdot \sin(2\pi \cdot f2 \cdot \delta t)$, $\cos\theta F_y = F \cdot \sin(2\pi \cdot f2 \cdot \delta t)$, and $\sin\theta$ -- thereby, contact section 102A taps the inner circumference front face $W1$ with a predetermined period $(1/f2)$ In addition, t in a formula shows time.

(4) While vibrating stylus 102 to shaft orientations by excitation means 103A, start the scan on the front face $W1$ of inner circumference by control means 31, tapping the inner circumference front face $W1$ by contact section 102A.

[0039] (5) While control means 31 adjust the instruction velocity vector V_n suitably during a scan based on the amplitude information value A_n from a detector 5, moving a base material 23 and making it the touch signal probe 100 move along the inner circumference front face $W1$ The real position r_n from the amplitude information value A_n and control means 31 from a detector 5 is accumulated at a personal computer 6 as the information value groups $A0-A_m$ and the real position groups $r0-r_m$ of each point of measurement $n=0$ - every m .

(6) If a scan is completed, a personal computer 6 will perform data processing from the accumulated amplitude information value groups $A0-A_m$ and the real position groups $r0-r_m$, and will compute the presumed surface positions $R0-R_m$ about each point on the scanned front face $W1$ of inner circumference. Hereafter, the detail of these scans and an operation procedure is explained.

[0040] First, movement (it imitates and operates) of the touch signal probe 100 which is in charge of a scan is explained. In drawing 4, the position of the touch signal probe 100 shall shift with r_{n-1} , r_n , r_{n+1} , and r_{n+2} . each -- position r_{n-1} , r_n , r_{n+1} , and r_{n+2} are expressed in the form of position vector $r_n = (x_n, y_n)$ from the zero (0 0) of system of coordinates The arrow prolonged on both sides of each point in drawing expresses vibration of tapping operation. Here, the decision of the move direction vector at the time of moving to the following point r_{n+1} from Point r_n (based on this, control means 31 set up an instruction velocity vector serially) is made as follows.

[0041] In the n -th point of measurement, the amplitude information on vibration obtained from the detecting signal of the detection means 5 is set to A_n , and positional information of the touch signal probe 100 at this time is made into real position $r_n = (x_n, y_n)$. Similarly in the $n+1$ st point of measurement, the amplitude information on vibration obtained from the detecting signal of the detection means 5 is set to A_{n+1} , and positional information of the touch signal probe 100 at this time is made into real position $r_{n+1} = (x_{n+1}, y_{n+1})$. The move direction vector from Point r_n to [from these] point r_{n+1} becomes $v_{n+1} = (x_{n+1} - x_n, y_{n+1} - y_n) = (v_{x\ n+1}, v_{y\ n+1})$. About the point of measurement in front of one, it becomes $v_n = (x_n - x_{n-1}, y_n - y_{n-1}) = (v_{x\ n}, v_{y\ n})$ similarly. Therefore, it is as follows when the move direction vector is made size regularity.

[0042]

[Equation 1]

$$R^2 = v_{x\ n}^2 + v_{y\ n}^2 = v_{x\ n+1}^2 + v_{y\ n+1}^2 \quad (1)$$

[0043] It is as follows when a vector product is taken using the unit vector e_z of Z shaft orientations (shaft orientations of stylus 102) about the move direction vector V_n and V_{n+1} .

[0044]

[Equation 2]

$$V_n \times V_{n+1} = \left(\sqrt{V_{xn}^2 + V_{yn}^2} \sqrt{V_{xn+1}^2 + V_{yn+1}^2} \sin \theta \right) e_z \quad (2)$$

[0045]

[Equation 3]

$$V_n \times V_{n+1} = (V_{xn}, V_{yn}) \times (V_{xn+1}, V_{yn+1}) = (V_{xn} V_{yn+1} - V_{xn+1} V_{yn}) e_z \quad (3)$$

[0046] If a sampling-time interval is made small, since the change θ of the sense will become small, $\sin \theta \approx \theta$ and Lycium chinense grows as follows by deformation of this formula (2) and the formula (3).

[0047]

[Equation 4]

$$\sqrt{V_{xn}^2 + V_{yn}^2} \sqrt{V_{xn+1}^2 + V_{yn+1}^2} \theta = V_{xn} V_{yn+1} - V_{xn+1} V_{yn} = P_n \quad (4)$$

[0048] In the scan on the front face W1 of inner circumference, movement of the touch signal probe 100 is in a predetermined contact state in every position, that is, it needs to be performed so that the amplitude information value A_n by contact may maintain the criteria information value A_s . That is, like drawing 5, supposing there is a difference ($A_{n-1} - A_s - A_{n+2} - A_s$) of the amplitude information value $A_{n-1} - A_{n+2}$ and the criteria information value A_s in each in each point $n-1 - n+2$, it is necessary to control so that these disappear. Here, since P_n of a formula (4) is dependent on A_n , it can be expressed as follows using a proportionality constant k in the $\theta = 0$ neighborhood.

[0049]

[Equation 5]

$$P_n = k(A_n - A_s) \quad (5)$$

[0050] As mentioned above, component V_{xn+1} of the move direction vector and V_{yn+1} can be calculated as follows.

[0051]

[Equation 6]

$$\begin{aligned} R^2 &= V_{xn+1}^2 + \left(\frac{V_{xn+1} V_{yn} + P_n}{V_{xn}} \right)^2 \\ V_{xn+1}^2 + 2P_n \frac{V_{yn}}{R^2} V_{xn+1} + \left(V_{xn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\ V_{xn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} V_{yn} \pm V_{xn} \sqrt{1 - \left(\frac{P_n}{R^2} \right)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

[0052]

[Equation 7]

$$\begin{aligned} R^2 &= V_{yn+1}^2 + \left(\frac{V_{yn+1} V_{xn} + P_n}{V_{yn}} \right)^2 \\ V_{yn+1}^2 + 2P_n \frac{V_{xn}}{R^2} V_{yn+1} + \left(V_{yn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\ V_{yn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} V_{xn} \pm V_{yn} \sqrt{1 - \left(\frac{P_n}{R^2} \right)^2} \end{aligned} \quad (7)$$

[0053] Furthermore, if these formulas (6) and a formula (7) are arranged, finally it can express as follows.

[0054]

[Equation 8]

$$\begin{aligned} v_{x_{n+1}} &= -Q_n v_{yn} \pm v_{xn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\ v_{y_{n+1}} &= -Q_n v_{xn} \pm v_{yn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\ \left(Q_n = \frac{P_n}{R^2} = \frac{k(A_n - A_s)}{R^2} \right) \end{aligned}$$

(8)

[0055] Thus, movement at the n+1st points (position vector V_{n+1}) from the n-th point (position vector V_n) can be determined using the amplitude information value A_n at that time. Usually, since such processing is performed by digital data processing, although a discretization error occurring and influencing a value R is predicted, it is solvable by amending a value R at any time so that it may become a predetermined size. As mentioned above, what is necessary is for the touch signal probe 100 to imitate, to perform control of operation, and just to move a base material 23 as an instruction velocity vector from control means 31 based on move direction vector V_{n+1} calculated as mentioned above in this case. Moreover, since move direction vector V_{n+1} becomes the form where the inner circumference front face $W1$ was met, if it is correcting so that it may be suitable in the direction which intersects perpendicularly with this move direction vector V_{n+1} , the inner circumference front face $W1$ will always be made as for the oscillating direction of tapping to the form struck in the direction of a normal. Therefore, it can scan, even when the configuration of a device under test is not known, and a measurement front face can always be certainly tapped in the direction of a normal.

[0056] Next, the processing which calculates the presumed surface position R_n on the front face $W1$ of inner circumference ($R0-R_m$) is explained from the amplitude information value A_n acquired among the above scans by the sampling by each point of measurement, and the real position r_n (the amplitude information value groups $A0-A_m$ and the real position groups $r0-r_m$ which were accumulated).

[0057] There are the following properties in the output signal of the touch signal probe 100 in drawing 6. In the state (A) where the stylus 102 of the touch signal probe 100 does not touch the inner circumference front face $W1$, the real position r_n of the touch signal probe 100 has pointed out the axis position of stylus 102, and this position's corresponds with the center position of contact section 102A at a nose of cam. If the inner circumference front face $W1$ will be contacted contact section 102A, the contact force $F1$ as reaction force from the inner circumference front face $W1$ will arise slightly. Inner circumference surface $W1$ position is calculable with this state by the sum with the spherical radius D of the real position r_n and contact section 102A (the amount of offset from the axis of stylus 102). If stylus 102 is further forced on the inner circumference front face $W1$, contact force $F2$ becomes large and it will be in the state (C) where stylus 102 bent. In this state, the axis position of stylus 102 and the center position of contact section 102A shift, and the center position of contact section 102A will be in the state of differing in the real position r_n which can be read from control means 31. This amount of gaps is indentation d_n , and exact measurement cannot be performed unless it carries out whether this value is abolished or it is always made regularity.

[0058] In drawing 7, in the state of drawing 6 (A) mentioned above, even if contact section 102A and the inner circumference front face $W1$ do not contact but are located in which position, they are [stylus 102] fixed at maximum $A0$. [of the vibration-amplitude information value A_n of the stylus 102 which is in the resonance state of vibration $f1$, and is obtained from a detector 5] Like drawing 6 (B) mentioned above, if contact section 102A contacts the inner circumference front face $W1$, the resonance state of stylus 102 will collapse, vibration will be suppressed, and the amplitude information value A_n will decrease. Amplitude reduction becomes so remarkable that the contact force from the inner circumference front face $W1$ becomes strong (i.e., so that indentation becomes large). The proportionality in this case can be expressed with the sensitivity inclination k_s .

[0059] If it always controls from such a relation so that the amplitude information value A_n turns into the predetermined criteria information value A_s , the precision reservation by fixed-izing of indentation d_n mentioned above is possible. Even if it is specifically going to maintain so that the amplitude information value A_n may turn into the predetermined criteria information value A_s , since movement of stylus 102 is predictor control, it will be shifted for a while like A_n near the criteria information value A_s . As mentioned above, from the relation between the real position r_n mentioned above, the amplitude information value A_n , and the criteria information value A_s , indentation d_n is computable, and the presumed surface position R_n on the front face $W1$ of inner circumference can be computed by considering the radius D with still more nearly spherical contact section 102A. The relation between scalar $|dn|$ of

indentation and the amplitude information value A_n is as follows from the sensitivity inclination k_s and the peak swing value A_0 .

[0060]

[Equation 9]

$$A_n = k_s |d_n| + A_0 \quad (9)$$

[0061] Therefore, scalar $|d_n|$ of indentation is as follows.

[0062]

[Equation 10]

$$|d_n| = \frac{A_n - A_0}{k_s} \quad (10)$$

[0063] Furthermore, it is as follows when scalar $|R_n|$ of a presumed surface position is presumed in consideration of the spherical radius D of contact section 102A.

[0064]

[Equation 11]

$$|R_n| = |r_n| - |d_n| + D = |r_n| - \frac{A_n - A_0}{k_s} + D \quad (11)$$

[0065] If the above processing is performed for every point of measurement, contact position presumption on all the front faces of the measuring object will be attained. In addition, although the property of the touch signal probe 100 was made into the fixed sensitivity inclination k_s corresponding to the variation rate in the explanation mentioned above, it is not necessarily regularity in fact. For this reason, if the property expression or the property table by the more nearly actually based function is adopted, much more improvement in precision is possible. In the above, although the procedure of presuming scalar $|R_n|$ of a presumed surface position was described, presumption of the actual presumed surface position R_n which also considered the direction is explained.

[0066] An end of the scan shown in drawing 4 accumulates the amplitude information value groups A_0 - A_m and the corresponding real position groups r_0 (x_0, y_0)- r_m (x_m, y_m) at the personal computer 6. The presumed surface positions R_0 - R_m on the front face W_1 of inner circumference are obtained from these accumulation data as follows. First, when asking for the presumed surface position R_n , contact force determines the amendment direction for this as position vector R'_n of the state of 0 at regular position vector R_n using fruit position r_{n-1} of order, and r_{n+1} to the real position r_n .

[0067] If it sets with auxiliary-wire vector $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$ as shown in drawing 8, vector $h_n = (y_{n+1} - y_{n-1}, -(x_{n+1} - x_{n-1}))$ perpendicular to this exists. In addition, in drawing, the vector h_n perpendicular from carrying out [abbreviation] at the tangential direction of the correspondence position on the front face of measurement understands the direction and bird clapper to which the correspondence position on the front face of measurement and auxiliary-wire vector h'_n cross at right angles. If the sense of the amendment to position vector R'_n is considered among this direction, it is possible to choose one sense, as it imitates and the sense of the control corresponding to the amplitude information under measurement is determined. Since a measurement front face usually imitates not only in this, for example and the method of selection is known in which of the travelling direction of measurement, it may choose any one sense based on this. In this way, the unit vector in of the amendment sense is searched for from the selected vector.

[0068]

[Equation 12]

$$i_n = \frac{h_n}{|h_n|} \quad (12)$$

[0069] r_n to R'_n is calculable by giving the sense of the upper formula (12) to the formula (11) mentioned above.

[0070]

[Equation 13]

$$R'_n = r_n - d_n i_n \quad (13)$$

[0071] Furthermore, it is as follows when the presumed surface position R_n is presumed in consideration of the spherical radius D of contact section 102A which is the amount of offset.

[0072]

[Equation 14]

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{R}'_n + D\mathbf{i}_n - \mathbf{r}_n - (d_n - D)\mathbf{i}_n - \mathbf{r}_n - \left(\frac{A_n - A_0}{k_s} - D\right)\mathbf{i}_n \quad (14)$$

[0073] The presumed configuration on the front face of measurement (inner circumference front face W1) is acquired by set (R0-Rm) of R_n obtained by the above. In addition, in the above-mentioned procedure, in order to use the information on the point of measurement of order, although the measurement surface position (R0, Rm) about the point (the 0th and the m-th) of an edge will be obtained, it should just extend a scope by expanding end position in this case etc.

[0074] According to the above 1st operation forms, after contacting stylus 102 on the surface of a device under test, the amplitude information value A_n of each point and the real positions r_n are collected by the scan of the aforementioned front face, and the presumed surface position R_n of each point can be calculated from these. Under the present circumstances, although stylus has distance with a front face controlled so that the amplitude information value A_n of each point turns into the criteria information value A_s , it does not stop at each point until it is completed as the criteria information value A_s by the amplitude information value A_n , and does not take convergence time like before. On the other hand, the presumed surface position R_n of each point can draw the real position r_n with an amended type with the amplitude information value A_n , and even if stylus does not arrive at the position of the amplitude information value $A_n =$ criteria information value A_s , it can acquire an exact value.

[0075] Since it was made to be determined by supposing that it is equivalent to the value to which instruction velocity-vector V_{n+1} for movement doubled the scalar of the outer product of the last value V_n and V_{n+1} concerned proportionality-constant k to the difference of the aforementioned amplitude information value A_n and the aforementioned criteria information value A_s at the time of a scan, control to which stylus is moved so that the amplitude information value A_n mentioned above may approach the criteria information value A_s can be performed simply and appropriately.

[0076] After the presumed surface position's R_n deciding the following point position r_{n+1} to the real position r_n in the case of an operation, the aforementioned real position r_n is made into the starting point, and it is a size corresponding to the aforementioned amplitude information value A_n . the above -- a degree -- real -- position r_{n+1} and one before -- real -- since it was made to consider as the position amended by the sense which intersects perpendicularly with the straight line which connects position r_{n-1} , the presumed surface position R_n can be obtained with a sufficient precision by the easy operation

[0077] In the case of an operation, by seasoning further the size corresponding to the amplitude information value A_n with the amount D of offset to the stylus shaft of contact section 102A of stylus 102, the presumed surface position R_n can consider the distance of an actual contact position to a stylus shaft position, and can perform exact position measurement.

[0078] About processing of a scan and an operation, the scan to the aforementioned front face which should carry out measurement is completed previously. The real position r_n corresponding to all required aforementioned amplitude information value A_n and this required about the aforementioned front face is memorized one by one to the meantime. Since the aforementioned operation is performed from the information value groups A_0-A_m memorized after this and the real position groups r_0-r_m corresponding to this and the presumed surface position groups R_0-R_m were obtained Since the information values A_0-A_m , the scanning process which detects the real positions r_0-r_m , and the operation process which calculates the presumed surface position groups R_0-R_m can be performed one by one separately, Since it is good, operation in each can be adjusted so that it may become the fastest without being able to make control simpler than the case where it carries out in parallel and taking mutual timing of operation into consideration.

[0079] While being able to make stylus 102 into a tapping method with this operation form according to making it resonate in the axial intersection direction on frequency f_2 , furthermore, in the case of a scan Since the amplitude information value A_n of the detecting signal outputted from a detector 5 is latched and it was made to control this latched amplitude information value A_n as compared with the criteria information value A_s when a predetermined phase had the vibration for tapping (frequency f_2), exact control is realizable.

[0080] Under the present circumstances, the direction of the vibration for [in stylus 102] tapping (frequency f_2) shall carry out the abbreviation rectangular cross with the move direction (the direction of a measurement front face, imitating direction) of the base material 23 in the process to scan, can write vibration of a parenthesis as it is linear, and can realize suitable tapping operation while it carries out an abbreviation rectangular cross at the shaft orientations of stylus 102.

[0081] Next, the 2nd operation form of this invention is explained. The 1st operation form and equipment

configuration which mentioned this operation form above, the procedure of a scan, etc. are the same, and the calculation procedures of the presumed surface position R_n which is the culmination of an operation procedure differ. For this reason, only the calculation procedure of the presumed surface position R_n which is a different portion is explained, and other intersections omit explanation. The calculation procedure of the presumed surface position R_n of this operation form is shown in drawing 9. Although set up with auxiliary-wire vector $h'_n=r_{n+1}-r_{n-1}$ with the aforementioned 1st operation form, it sets up with auxiliary-wire vector $h'_n=r_n-r_{n-1}$ with this operation form. A subsequent operation is the same as the aforementioned 1st operation form, and good.

[0082] According to such a 2nd operation form, like the aforementioned 1st operation form, since the following fruit position r_{n+1} is unnecessary, data processing of the detection data can be carried out immediately. namely, -- the case where accumulate the detection data (the amplitude information value A_n and real position r_n) about all point of measurement previously like the aforementioned 1st operation form, collect later, and the presumed surface position R_n is calculated -- a degree -- real -- position r_{n+1} is obtained easily. However, whenever it measures by each point of measurement, without accumulating detection data, when calculating the presumed surface position R_n , the following fruit position r_{n+1} is not obtained until it shifts to the following point of measurement. However, by using the operation technique like this operation form, even when performing processing which does not accumulate detection data, data processing can be performed certainly.

[0083] Next, the 3rd operation form of this invention is explained. The 1st operation form and equipment configuration which mentioned this operation form above, the procedure of a scan, etc. are the same, and the calculation procedures of the presumed surface position R_n which is the culmination of an operation procedure differ. For this reason, only the calculation procedure of the presumed surface position R_n which is a different portion is explained, and other intersections omit explanation. The calculation procedure of the presumed surface position R_n of this operation form is shown in drawing 10. With the aforementioned 1st operation form, auxiliary-wire vector $h'_n=r_{n+1}-r_{n-1}$ was set up, and in the aforementioned 2nd operation form, auxiliary-wire vector $h'_n=r_n-r_{n-1}$ was set up, and it calculated by drawing the perpendicular vector h_n from each. On the other hand, with this operation form, two or more point of measurement near the r_n (r_{n-1} , r_n , r_{n+1} , r_{n+2} grade) is chosen, the approximation curve C_n is set up based on each point, and a perpendicular is taken down from the real position r_n to the real position r_n on this approximation curve C_n at a nearby point, and let this perpendicular be the perpendicular vector h_n . A subsequent operation is the same as the aforementioned 1st operation form, and good.

[0084] According to such a 3rd operation form, rather than the aforementioned 1st operation form, the perpendicular vector h_n can be drawn using much point of measurement (r_{n-1} , r_n , r_{n+1} , r_{n+2} grade), and the accuracy of measurement can be improved further. Especially, it scans previously like the aforementioned 1st operation form, and inspection data are accumulated, and since the data of two or more point of measurement can use easily when collecting later and performing data processing, highly precise-ization can be attained easily.

[0085] Next, the 4th operation form of this invention is explained. While having a posture operation means 24 to make the touch signal probe 100 rotate and incline into an arbitrary posture, in a base material 23 although the equipment configuration of this operation form is almost the same as that of the aforementioned 1st operation form as shown in drawing 11, a controller 3 has the attitude control means 33, and the point of operating the posture of the touch signal probe 100 according to the inclination on the front face $W1$ of inner circumference of Work W by these is different.

[0086] It is necessary to operate the posture of the touch signal probe 100, and the information about the inclination on the front face $W1$ of inner circumference of Work W is needed in actual measurement in advance of the scan on the front face $W1$ of inner circumference of Work W . What is necessary is to perform two or more position measurement on the front face $W1$ of inner circumference of Work W beforehand, or just to deduce the configuration on the front face $W1$ of inner circumference to this, using the design data (CAD data) of Work W . In the scan on the front face $W1$ of inner circumference of Work W , although it is made to become being the same as that of the 1st operation form about the relative-position relation on stylus 102 and the front face $W1$ of inner circumference, since an inclination is shown in the inner circumference front face $W1$ in this operation form, a Z-axis drive also scans by controlling by control means 31 besides the X-axis drive of a base material 23, and a Y-axis drive.

[0087] In this operation form, since other equipment configurations are the same as that of the 1st operation form, explanation is omitted here. Since the relative-position relation on stylus 102 and the front face $W1$ of inner circumference is the same as that of the 1st operation form, the operation procedure of the presumed surface position R_n by the scanning method in the 1st operation form, the 2nd operation form, and the 3rd operation form is applicable. In this operation form, since it has the posture operation means 24 and the attitude control means 33, contact section 102A can always perform tapping in the direction of a normal on the front face $W1$ of inner circumference by acquiring the inclination information on the front face $W1$ of inner circumference beforehand.

[0088] In addition, this invention is not limited to each above-mentioned operation gestalt, and also includes

deformation as shown below. Although the surface type-like measuring method concerning each aforementioned operation gestalt was used in order to measure the inner circumference front face W1 of the cylinder-like work W, it is not restricted to this as a device under test. That is, in order to measure continuously the work which has the periphery front face of the cylinder-like work W, and other complicated three-dimensions configurations, you may use this invention.

[0089] moreover -- each aforementioned operation gestalt -- the [an excitation means and] -- although 2 excitation meanses were constituted from piezoelectric devices 103A and 110 -- not only this but other structures -- the [an excitation means and] -- you may constitute 2 excitation meanses the [which can vibrate stylus on predetermined frequency in short in the direction which intersects perpendicularly with shaft orientations and a shaft / an excitation means and] -- as long as it is 2 excitation meanses, you may adopt other composition

[0090] Furthermore, although the touch signal probe was moved and the work was measured with each aforementioned operation gestalt, you may measure by moving the XYZ table which laid the work. Moreover, a posture operation means carries out preparing a posture operation means in the work installation side of not only a thing but a XYZ table established in a base material etc., and you may make it operate the posture of a work. In addition, concrete structure, a concrete configuration, etc. in the case of operation of this invention are good also as structure of others [the range which can attain the purpose of this invention] etc.

[0091] Furthermore, what is necessary is just to take into consideration the amount of offset from a reference-axis line to a contact position that what is necessary is just to choose suitably the configuration at a concrete form of a contact detection probe, especially the nose of cam of stylus etc., if it is the amount D of offset, then other good configurations about the radius, if it is spherical contact section 102A like the aforementioned 1st operation gestalt. Moreover, although considered as the probe which performs tapping operation with each aforementioned operation gestalt, this is not performed, it imitates and this invention is applicable also to measurement of operation. In this case, what is necessary is just to omit suitably the 2nd excitation means of each aforementioned operation gestalt etc.

[0092]

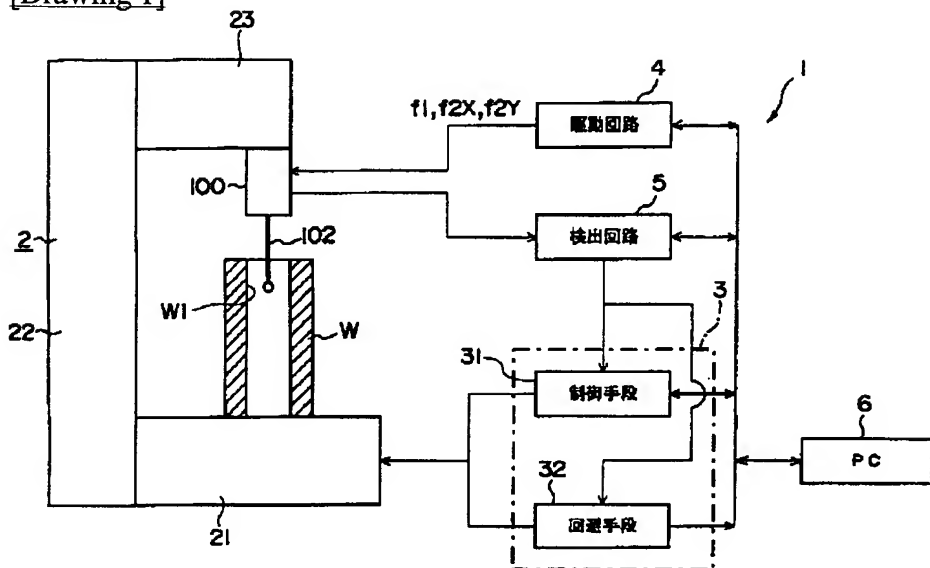
[Effect of the Invention] Working efficiency can be raised avoiding the influence of the convergence time for every point of contact of the device under test in contact detection of an oscillating type, and maintaining the accuracy of measurement highly, since a probe is not stabilized for every point of measurement and it enabled it to compute a presumed surface position by processing of detection data according to the surface type-like measuring method of this invention as mentioned above.

[Translation done.]

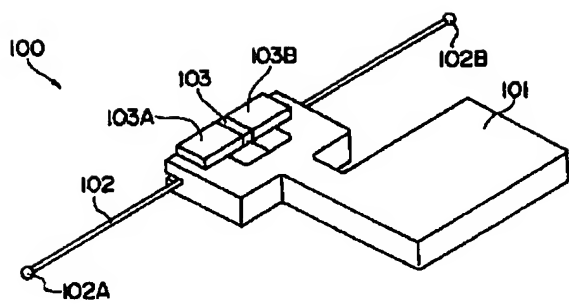
Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

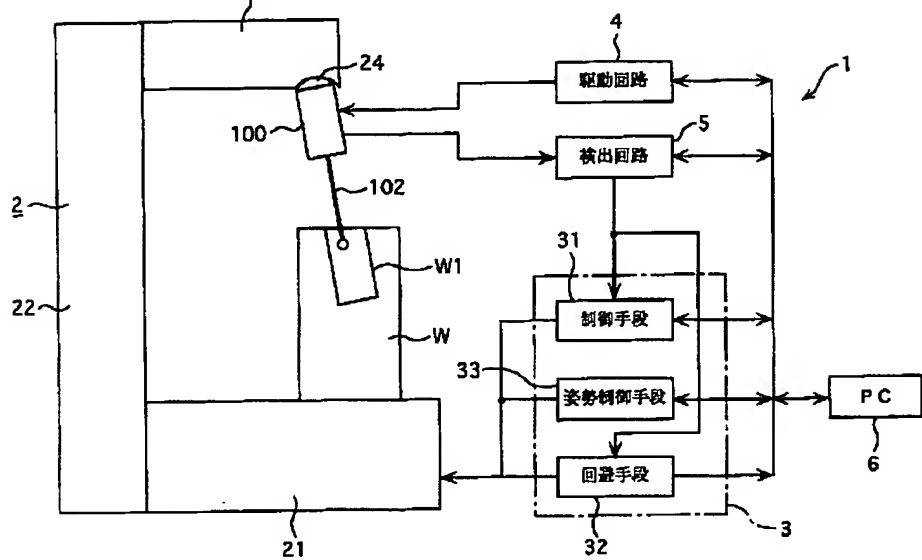
[Drawing 1]

[illegible]

[Drawing 3]



[Drawing 11]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-99639
(P2001-99639A)

(43) 公開日 平成13年4月13日 (2001.4.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 1 B 21/20	1 0 1	G 0 1 B 21/20	1 0 1
7/00		7/00	U
21/00		21/00	P

、 審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 15 頁)

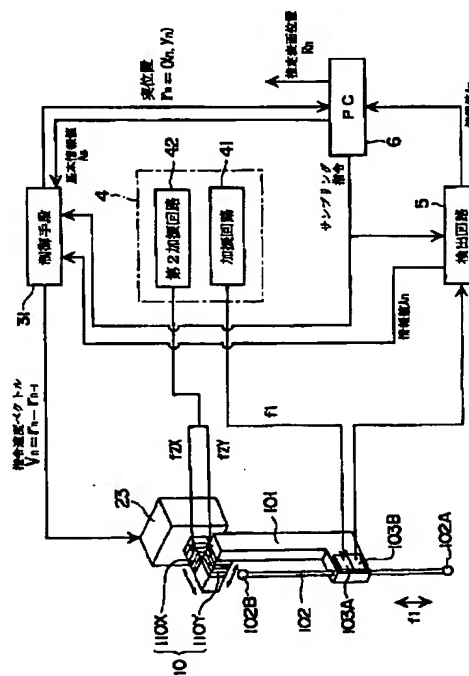
(21) 出願番号	特願2000-221243(P2000-221243)	(71) 出願人	000137694 株式会社ミットヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(22) 出願日	平成12年7月21日 (2000.7.21)	(72) 発明者	日高 和彦 茨城県つくば市上横場430-1 株式会社 ミットヨ内
(31) 優先権主張番号	特願平11-209618	(72) 発明者	齋藤 章憲 茨城県つくば市上横場430-1 株式会社 ミットヨ内
(32) 優先日	平成11年7月23日 (1999.7.23)	(72) 発明者	岡本 清和 茨城県つくば市上横場430-1 株式会社 ミットヨ内
(33) 優先権主張国	日本 (J P)	(74) 代理人	100079083 弁理士 木下 實三 (外2名)

(54) 【発明の名称】 表面形状測定方法

(57) 【要約】

【課題】 振動式の接触検出における被測定物の接触点毎の収束時間の影響を回避し、測定精度を高く維持しつつ作業効率を高められる表面形状測定方法を提供すること。

【解決手段】 指令速度ベクトル V_n の指令により、タッチ信号プローブ100を移動させて測定すべき表面に接触させる工程、検出回路5から出力される検出信号の振幅情報値 A_n が所定の基準情報値 A_0 となるように測定すべき表面との距離を制御しつつ、タッチ信号プローブ100を測定すべき表面に沿って移動させ、振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n を出力してゆくことで測定すべき表面を走査する工程、振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n から振幅情報値 A_n が一定になるように走査した場合に得られると推定される推定表面位置 R_n を演算する工程を含むことを特徴とする表面形状測定方法。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 外部からの指令により三次元空間内を所定の指令速度ベクトルで運動する支持体と、この支持体に支持されかつ被測定物に接触する接触部を有するスタイラスと、前記スタイラスを軸方向に周波数 f 1 で共振させる加振手段と、この加振手段による前記スタイラスの振動の変化を検出する検出手段とを備えた接触検出プローブを用い、前記被測定物の表面に前記接触部が接触した際の支持体の位置から前記被測定物の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、前記指令速度ベクトルの指令により、前記接触検出プローブを移動させて前記被測定物の測定すべき表面に接触させる工程、

前記検出回路から出力される前記検出信号の振幅情報値 A_n が所定の基準情報値 A_s となるように前記測定すべき表面との距離を制御しつつ、前記接触検出プローブを前記測定すべき表面に沿って移動させ、前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n を出力してゆくことで前記測定すべき表面を走査する工程、前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n から、前記振幅情報値 A_n が一定になるように走査した場合に得られると推定される推定表面位置 R_n を演算する工程を含むことを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の表面形状測定方法において、前記走査する工程における前記指令速度ベクトル V_{n+1} は、直前の値 V_n と当該 V_{n+1} との外積のスカラを前記振幅情報値 A_n と前記基準情報値 A_s との差に比例定数 k 倍した値と等価とすることで決定されることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載の表面形状測定方法において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n に対して次の実位置 r_{n+1} を確定した後、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさで、前記次の実位置 r_{n+1} および一つ前の実位置 r_{n-1} を結ぶ直線と直交する向きに補正された位置であることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 4】 請求項 1 または請求項 2 に記載の表面形状測定方法において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさで、前記実位置 r_n および一つ前の実位置 r_{n-1} を結ぶ直線と直交する向きに補正された位置であることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 5】 請求項 1 または請求項 2 に記載の表面形状測定方法において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさで、少なくとも前記実位置 r_n とこの近傍の実位置 r_{n+1} 、 r_{n-1} の 3 点で規定される曲線に前記実位置 r_n から下ろした垂線の向きに補正された位置であることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 6】 請求項 3 ～請求項 5 の何れかに記載の表

面形状測定方法において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさに更に前記スタイラスの接触部のスタイラス軸に対するオフセット量 D が加味されることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 7】 請求項 1 ～請求項 6 の何れかに記載の表面形状測定方法において、先に前記測定すべき表面に対する走査を完了し、その間に前記表面に関する必要な全ての前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n とを順次記憶しておき、この後記憶しておいた情報値群 $A_0 \sim A_m$ とこれに対応する実位置群 $r_0 \sim r_m$ とから前記演算を行って推定表面位置群 $R_0 \sim R_m$ を得ることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 8】 請求項 1 ～請求項 7 の何れかに記載の表面形状測定方法において、前記接触検出プローブは、更に前記スタイラスを軸交叉方向に周波数 f 2 で共振させる第 2 の加振手段を備え、前記走査する工程においては、前記第 2 の加振手段による振動が所定の位相にある時に前記検出回路から出力される前記検出信号の振幅情報値 A_n をラッチし、このラッチした振幅情報値 A_n を前記基準情報値 A_s と比較して制御を行うことを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の表面形状測定方法において、前記第 2 の加振手段による前記スタイラスの振動の方向は、前記スタイラスの軸方向に略直交するとともに、前記走査する工程での前記支持体の移動方向と略直交していることを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 10】 請求項 1 ～請求項 8 の何れかに記載の表面形状測定方法において、前記支持体は、前記接触検出プローブを任意姿勢に回転および傾斜させる姿勢操作手段を有し、前記被測定物の形状に応じて前記接触検出プローブの姿勢を操作することを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の表面形状測定方法において、前記第 2 の加振手段による前記スタイラスの振動の方向が、前記接触部が接触する前記被測定物の表面の法線方向となるように前記姿勢操作手段を操作することを特徴とする表面形状測定方法。

【請求項 12】 請求項 8 ～請求項 11 の何れかに記載の表面形状測定方法において、前記第 2 の加振手段による前記スタイラスの振動は直線的であることを特徴とする表面形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、三次元測定機などに取付けた接触式プローブにより被測定物の表面形状を測定する表面形状測定方法に関し、特に超音波振動式の接触検出プローブを用いる際の測定効率および精度の向上に関する。

【0002】

【背景技術】被測定物の形状や寸法の測定を行う測定機器としてハイトゲージ（一次元測定器）、三次元測定機や輪郭測定器が知られている。これらの測定機器には、測定機器本体と被測定物との位置関係を検出するために各種プローブが使用される。これらのプローブは、非接触式プローブと接触式プローブに、あるいは連続測定プローブと接触検出プローブ（タッチトリガプローブ）等に分類される。そして、三次元測定機用の接触検出プローブとしては、特開平6-221806号公報で開示される超音波式タッチ信号プローブが知られている。

【0003】前記公報に開示されるタッチ信号プローブは、被測定物と接触する接触部を先端に有するスタイラスと、このスタイラスを支持するスタイラスホルダと、スタイラスを軸方向に共振させる加振手段と、この加振手段によるスタイラスの振動の変化を検出する検出手段とを含んで構成される。このようなタッチ信号プローブによれば、加振手段によりスタイラスを振動させた状態で先端部を被測定物の端面と接触させると、接触力によりスタイラスの振動の状態が変化するので、この変化を検出手段により検出することにより、被測定物の端面位置を検出することができる。

【0004】このような超音波式タッチ信号プローブを用いて小孔径等の測定を行うこともあり、小孔等を測定可能とするために、小型化が図られた超音波式タッチ信号プローブとして、特願平10-220474号に示されるタッチ信号プローブが提案されている。図12に示すように、このタッチ信号プローブ100は、スタイラスホルダ101、スタイラス102、加振手段103A、および検出手段103Bを備えている。スタイラス102の先端には、被測定物と接触する接触部102Aが設けられるとともに、その基端にはカウンタバランス102Bが設けられ、スタイラス102の軸方向中央位置が重心位置とされている。そして、スタイラス102を軸方向に振動させると、振動の節はこの重心位置となる。

【0005】このようなタッチ信号プローブ100は、小孔測定を可能とするために、スタイラス102を、細い棒状部材で構成するとともに、接触部102Aをこのスタイラス102に合わせて小径の球状体で構成している。また、スタイラスホルダ101は、このような細いスタイラス102を1カ所で支持するのは困難であるため、スタイラス102の重心位置を挟んで2カ所でスタイラス102を支持している。

【0006】加振手段103Aおよび検出手段103Bは、スタイラスホルダ101の2カ所の支持部分にまたがるように配置される圧電素子103を二分割して構成される。そして、加振手段103Aによりスタイラス102を軸方向に沿って共振させると、振動の節は、スタイラス102の重心位置に生じ、スタイラスホルダ101のスタイラス102の支持部分は、この振動の節を挟むような位置とされる。

【0007】このようなタッチ信号プローブ100によれば、スタイラスホルダ101がスタイラス102を振動の節を挟んで2カ所で支持しているので、スタイラス102を極めて細い棒状部材で構成しても、スタイラスホルダ101により支持させることができ、アスペクト比の大きい小孔の内面測定等を行うことができる。

【0008】一方、被測定物の表面への接触を振動動作により行う方式（タッピング方式）も開発されている（特願平11-96377号など）。この方式は、例えば前述したスタイラスホルダ101に第2の加振手段を設け、この加振手段によりスタイラス102を振動させ、その先端の接触部102Aを被測定物に対して近接離隔する方向へ振動させるものである。このようなタッピング方式によれば、スタイラス102を被測定物の表面に沿って移動させて表面形状の連続測定を行っても、接触部102Aが被測定物に対して近接離隔することで、スタイラス102の剛性が小さくても被測定物による引きづり（凝着現象）を回避することができる。従って、高精度を維持しつつ連続測定による作業効率の向上が図れる等の効果がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかし、前述した超音波振動式のタッチ信号プローブでは、接触検出のトリガを出力するタイミングが測定精度を左右する。つまり、加振手段により振動するスタイラスが被測定物に近接し、接触部が被測定物の表面に接触すると、接触が始った時点で振動が抑制され出す。そして、更に近接し、ある程度の圧接力を以て接触部と被測定物の表面とが接触することで、更にスタイラスの振動が抑制される。この際、被測定物の表面に対する押付け状態と振動の抑制状態には相関関係があるから、検出手段の出力信号を監視し、振動の抑制が所定のレベルに達したことを判定すれば、被測定物に対するスタイラスの押込み量は一定となり、正確な位置検出が可能となる。

【0010】しかし、被測定物の表面の一点の位置測定には、その位置でスタイラスの振動状態が所定状態に収束するまで、スタイラスを近接離隔させては検出して等の繰返し作業が必要である。特に、被測定物の表面の連続測定など、多数の点を検査する場合には作業時間の合計が膨大になる虞がある。一方、被測定物の各点の位置測定の際に、その位置でスタイラスの振動状態を厳密に収束させるのではなく、所定の範囲内にまで収束する程度とすれば、作業時間は短縮できるが、この場合は当然測定精度が劣る結果となる。

【0011】本発明の目的は、振動式の接触検出における被測定物の接触点毎の収束時間の影響を回避し、測定精度を高く維持しつつ作業効率を高められる表面形状測定方法を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、従来の振動式

接触検出が、スタイラスの振動状態が所定状態となる位置にスタイラスを移動させ、この位置でのスタイラス位置情報を読み出して接触位置を算出していたのであり、このためにスタイラスを細かく近接離隔させる煩雑さが収束時間となっていたことに着目したものである。そして、スタイラスを実際に所定位置に落着かせるのではなく、近傍で得られる検出手段からの情報とスタイラスの位置情報から従来落着かせるべきであった所定位置の情報を演算するものとし、これにより被測定物の表面の位置を精度良くかつ効率よく測定できるようにするものである。

【0013】具体的には、外部からの指令により三次元空間内を所定の指令速度ベクトルで運動する支持体と、この支持体に支持されかつ被測定物に接触する接触部を有するスタイラスと、前記スタイラスを軸方向に周波数 f で共振させる加振手段と、この加振手段による前記スタイラスの振動の変化を検出する検出手段とを備えた接触検出プローブを用い、前記被測定物の表面に前記接触部が接触した際の支持体の位置から前記被測定物の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、前記指令速度ベクトルの指令により、前記接触検出プローブを移動させて前記被測定物の測定すべき表面に接触させる工程、前記検出回路から出力される前記検出信号の振幅情報値 A_n が所定の基準情報値 A_s となるように前記測定すべき表面との距離を制御しつつ、前記接触検出プローブを前記測定すべき表面に沿って移動させ、前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n を出力してゆくことで前記測定すべき表面を走査する工程、前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n から、前記振幅情報値 A_n が一定になるように走査した場合に得られると推定される推定表面位置 R_n を演算する工程を含むことを特徴とする。

【0014】接触検出プローブとしては、前述した超音波振動式のタッチ信号プローブ等を利用することができる。スタイラスは支持体に接続されたスタイラスホルダを介して支持される構造等とすればよい。加振手段としては圧電素子などの既存の駆動要素が適宜利用できる。この加振手段を作動させるために外部に電源および駆動回路を接続してもよい。検出手段も圧電素子により構成でき、加振手段と一体化した構造など既存の構成が適宜採用できる。支持体の駆動は既存の三次元測定機に依存してもよく、外部のコントローラあるいはコンピュータシステムで実行される指令プログラムに基づいて動作が行われるようにすればよい。検出手段からの振幅情報値 A_n の収集、基準情報値 A_s に沿った制御、推定表面位置 R_n の演算等はこれら外部のコントローラあるいはコンピュータシステムで実行させることができる。走査する工程における振幅情報値 A_n 、実位置 r_n の収集と推定表面位置 R_n の演算とは、並行して行っても良いし、後述するように各工程を順次行ってもよい。並行して行うとは、 r_n 位置の検出を行っている間に、外部コンピュータ等で数ス

テップ前の振幅情報値 A_{n-2} 、実位置 r_{n-2} から推定表面位置 R_{n-2} の演算を行う等を意味する。

【0015】このような構成においては、スタイラスを被測定物の表面に接触させた後、前記表面の走査により各点の振幅情報値 A_n 、実位置 r_n が収集され、これらから各点の推定表面位置 R_n が演算される。この際、スタイラスは各点の振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s になるように表面との距離を制御されるが、振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s に収束するまで各点で留まるものではなく、従来のような収束時間はかからない。一方、各点の推定表面位置 R_n は、実位置 r_n を振幅情報値 A_n で補正する形で導くことができ、スタイラスが振幅情報値 A_n = 基準情報値 A_s の位置に達することがなくとも正確な値を得ることができる。

【0016】本発明において、前記走査する工程における前記指令速度ベクトル V_{n+1} は、直前の値 V_n と当該 V_{n+1} との外積のスカラーを前記振幅情報値 A_n と前記基準情報値 A_s との差に比例定数 k 倍した値と等価とすることで決定されることが望ましい。このようにすれば、前述した振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s に近づくようにスタイラスを移動させる制御を簡単かつ適切に行うことができる。

【0017】本発明において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n に対して次の実位置 r_{n+1} を確定した後、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさと、前記次の実位置 r_{n+1} および一つ前の実位置 r_{n-1} を結ぶ直線と直交する向きに補正された位置とすることができる。このようにすれば、簡単な演算で精度良く推定表面位置 R_n を得ることができる。

【0018】また、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさと、前記実位置 r_n および一つ前の実位置 r_{n-1} を結ぶ直線と直交する向きに補正された位置とすることができる。このようにすれば、次の実位置 r_{n+1} が必要ないため、検出データを直ちに演算処理することができる。

【0019】更に、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさと、少なくとも前記実位置 r_n とこの近傍の実位置 r_{n+1} 、 r_{n-1} の3点で規定される曲線に前記実位置 r_n から下ろした垂線の向きに補正された位置とすることができる。このようにすれば、より精度の高い推定表面位置 R_n を得ることができる。

【0020】本発明において、前記演算する工程で演算される前記推定表面位置 R_n は、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさに更に前記スタイラスの接触部のスタイラス軸に対するオフセット量 D が加味されることが望ましい。オフセット量 D は、例えばスタイラスの接触部が球状なら、その半径等で与えられる。これらは、スタイラス軸位置に対して実際の接触位置の距離を加味するとい

うことである。

【0021】本発明において、先に前記測定すべき表面に対する走査を完了し、その間に前記表面に関する必要な全ての前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n とを順次記憶しておき、この後記憶しておいた情報値群 $A_0 \sim A_n$ とこれに対応する実位置群 $r_0 \sim r_n$ とから前記演算を行って推定表面位置群 $R_0 \sim R_n$ を得ることが望ましい。振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置 r_n とを順次記憶するのは、前述した外部のコンピュータシステム等を適宜利用すればよい。このようにすれば、情報値 $A_0 \sim A_n$ 、実位置 $r_0 \sim r_n$ を検出する走査工程と、推定表面位置群 $R_0 \sim R_n$ を演算する演算工程とを別個に順次行えるため、並行して行う場合よりも制御を簡略にでき、かつ相互の動作タイミングを考慮しないでよいため各々における動作を最速になるように調整できる。

【0022】本発明において、前記接触検出プローブは、更に前記スタイラスを軸交叉方向に周波数 $f/2$ で共振させる第2の加振手段を備え、前記走査する工程においては、前記第2の加振手段による振動が所定の位相にある時に前記検出回路から出力される前記検出信号の振幅情報値 A_n をラッチし、このラッチした振幅情報値 A_n を前記基準情報値 A_0 と比較して制御を行うものとすることができる。このようにすれば、本発明を前述したタッピング方式において実現することができる。

【0023】この際、前記第2の加振手段による前記スタイラスの振動の方向は、前記スタイラスの軸方向に略直交するとともに、前記走査する工程での前記支持体の移動方向と略直交しているものとするのが望ましい。このようにすれば、被測定物の測定表面に対して常に略直角方向へタッピングを与えることができる。

【0024】本発明において、前記支持体は、前記接触検出プローブを任意姿勢に回転および傾斜させる姿勢操作手段を有し、前記被測定物の形状に応じて前記接触検出プローブの姿勢を操作するようにしてもよい。これにより、前記被測定物の測定表面と前記接触検出プローブの軸を並行にすることができ、前記被測定物の測定表面が傾斜等している場合でも本発明に基づく測定の実施が容易にできる。

【0025】この際、前記第2の加振手段による前記スタイラスの振動の方向が、前記接触部が接触する前記被測定物の表面の法線方向となるように前記姿勢操作手段を操作することが望ましい。これにより、前記被測定物の測定表面が傾斜等している場合でも、法線方向のタッピングによってより正確な測定を行うことができる。

【0026】なお、接触検出プローブの姿勢の操作にあたっては、被測定物の測定表面に関する情報が必要となる。この情報は、例えば本発明に基づく測定に先立って、被測定物の測定表面の複数箇所の位置測定を行って測定表面の形状を割出すか、あるいは被測定物の設計デ

ータ、例えばCADデータを利用してよい。

【0027】本発明において、前記第2の加振手段による前記スタイラスの振動は直線的であることが望ましい。このようにすれば、本発明において適切なタッピング動作を実現することができる。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の一形態を図面に基づいて説明する。尚、以下の説明では、既に説明した部分又は部材と同一又は類似の部分等については、同一符号を付してその説明を省略又は簡略する。図1および図2には、本発明の第1実施形態に係る表面形状測定方法を組み込んだ内外側面測定装置が示されている。

【0029】内外側面測定装置1は、測定器本体2、コントローラ3、駆動回路4、検出回路5、およびパーソナルコンピュータ6を含んで構成される。駆動回路4は、タッチ信号プローブ100をスタイラスの軸方向および軸に直交する方向に振動させるためのものであり、検出回路5は、スタイラスに設けられた検出手段からの電気信号を処理してコントローラ3に出力する部分である。また、パーソナルコンピュータ6は、コントローラ3に制御信号を出力して測定器本体2の動作制御を行うとともに、検出回路5やコントローラ3の制御手段31からの情報の演算処理を行ってワークWの真円度等の評価を行う。

【0030】測定器本体2は、ワークWを設置して表面形状を測定するものであり、該ワークWが設置されるXYZテーブル21と、このXYZテーブル21の端部に立設される支柱22と、この支柱22の延出方向に摺動自在に設けられる支持体23と、この支持体23に支持されるタッチ信号プローブ100とを含んで構成される。XYZテーブル21は、図1では図示を略したが、ワークWを所定の位置に設置するために、ワークWをXYZテーブル21の面に沿って移動させるX軸調整機構およびY軸調整機構と、ワークWをXYZテーブル21の面の法線方向に移動させるZ軸調整機構とを備えている。そして、ワークWをXYZテーブル21に設置した後、これらの軸調整機構を操作して該ワークの正確な位置調整を行う。

【0031】支持体23は、図1では図示を略したが、タッチ信号プローブ100をXYZテーブル21の面に沿って移動させるX軸駆動機構およびY軸駆動機構と、支柱22に沿って上下に支持体23を移動させるZ軸駆動機構とを備え、これらの軸駆動機構は、後述するコントローラ3により動作制御される。コントローラ3は、支持体23を動作制御する部分であり、制御手段31および回避手段32を備えている。

【0032】制御手段31は、パーソナルコンピュータ6からの指令に基づいて、測定器本体2の支持体23の動作制御を行うものである。制御手段31は支持体23の軸駆動機構へ移動動作のための指令速度ベクトル V_0 を

送り、支持体 23 の軸駆動機構はこの指令速度ベクトル V_n に基づく移動を実行する。制御手段 31 にはパーソナルコンピュータ 6 から稼働開始時などに基準情報値 A_n が送られる。制御手段 31 は、支持体 23 の動作の間、検出回路 5 からの振幅情報値 A_n をモニタし、この振幅情報値 A_n が基準情報値 A_n に近づくように指令速度ベクトル V_n を設定し、支持体 23 の移動を制御するようになっている。回避手段 32 は、検出回路 5 からの検出信号が所定の値を維持できない場合、制御手段 31 による動作制御を中止し、それまでの制御手段 31 によるタッチ信号プロープ 100 の移動方向とは反対方向に、支持体 23 を移動させる制御信号を出力する部分である。この回避手段 32 により、タッチ信号プロープ 100 は、ワーク W と非接触状態となり、過大な接触力による損傷が防止される。

【0033】図 2 に示すように、タッチ信号プロープ 100 は、スタイラスホルダ 101、スタイラス 102、接触部 102A、カウンタバランス 102B、加振手段 103A、および検出手段 103B を備えている。そして、支持体 23 とこの支持体 23 に支持されるスタイラスホルダ 101 との間には、スタイラス 102 を該スタイラス 102 の軸に直交する方向に振動させる第 2 加振手段 110 が設けられている。尚、スタイラス 102 の軸に直交する平面内で任意の方向に該スタイラス 102 を振動させるために、第 2 加振手段 110 は、互いに直交する方向に振動させる X 軸加振素子 110X および Y 軸加振素子 110Y を備え、X 軸加振素子 110X および Y 軸加振素子 110Y は、スタイラスホルダ 101 および支持体 23 の間に直列に配置されている。

【0034】駆動回路 4 は、加振手段 103A および第 2 加振手段 110 に所定の周波数で電気信号を与える部分であり、加振回路 41 および第 2 加振回路 42 から構成されている。加振回路 41 は、加振手段 103A が所定の振幅、所定の周波数で動作するような電気信号を発生させる発信器を備え、これにより、スタイラス 102 は周波数 f_1 で軸方向に振動する。

【0035】第 2 加振回路 42 は、上述した X 軸加振素子 110X および Y 軸加振素子 110Y を所定の振幅、所定の周波数で動作するような電気信号を発生させる発信器を備えている。尚、この発信器は、X 軸加振素子 110X および Y 軸加振素子 110Y を同期して動作させるが、各加振素子 110X、110Y の電気信号の振幅は、独立で調整可能となっている。そして、各加振素子 110X、110Y に振幅の異なる電気信号を与えることにより、スタイラス 102 は任意の方向に振動し、両加振素子 110X、110Y の振動を同期させることにより、スタイラス 102 は、周波数 f_2 でスタイラス 102 の軸に直交する任意の方向に振動する。

【0036】パーソナルコンピュータ 6 には、検出回路 5 からの検出信号（振幅情報値 A_n ）が入力されている。

検出回路 5 にはパーソナルコンピュータ 6 から所定周期のサンプリング信号が出力されており、検出回路 5 はこのサンプリング信号が送られた時点の振幅情報値 A_n を出力するようになっている。また、パーソナルコンピュータ 6 には制御手段 31 から現在位置（実位置 r_n ）が入力されている。制御手段 31 には前述した検出回路 5 向けと同じサンプリング信号が送られており、制御手段 31 は前述した検出回路 5 から出力される振幅情報値 A_n に対応した実位置 r_n をパーソナルコンピュータ 6 に出力するようになっている。更に、パーソナルコンピュータ 6 には、前述した振幅情報値 A_n および実位置 r_n のデータセットを複数記憶しておき、これらを演算処理して推定表面位置 R_n を求める演算機能がソフトウェアにより設定されている。

15 【0037】次に、上述した第 1 実施形態に係る内径測定装置 1 の動作を、図 3 に示すようなワーク W の内周表面 W1 の形状測定を行う場合について説明する。

(1) 図 3 に示すように、予め三点測定を行うかあるいは CAD データを利用する等により、内周の中心 O_w の位置座標および概ねの半径 R_w を取得する。

(2) スタイラス 102 の第 2 加振手段 110 による振動を考慮し、半径 R_w よりも Δr だけ小さい円 S1 を接触部 102A の基本的な動作軌跡として制御手段 31 に設定する。具体的には、図 3 における測定開始点 P0 から 20 の角度 θ と、半径 $R_w - \Delta r$ に基づいて接触部 102A の動作制御を行う。尚、加振手段 2 によるスタイラス 102 の軸に直交する振動の振幅が極めて微小であるため、この Δr は、接触部 102A の半径に略等しい値と考えても、実際には差し支えない。

30 【0038】(3) スタイラス 102 の第 2 加振手段 110 による振動が内周表面 W1 の内側面の法線方向となるように、第 2 加振回路 42 の電気信号を前記角度 θ の関数として設定し、第 2 加振手段 110 を構成する X 軸加振素子 110X、Y 軸加振素子 110Y を動作させる。

35 具体的には、円 S1 の中心点 O および測定開始点 P0 を結ぶ方向を X 軸加振素子 110X の振動方向とし、X 軸加振素子 110X および Y 軸加振素子 110Y のスタイラス 102 の軸に直交する方向の最大力を F、第 2 加振回路による周波数を f_2 とすると、X 軸加振素子 110X による X 軸方向の力 F_x 、および Y 軸加振素子 110Y による Y 軸方向の力 F_y は、以下の関数として設定される。

$$F_x = F \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) \cdot \cos \theta$$

$$F_y = F \cdot \sin(2\pi \cdot f_2 \cdot t) \cdot \sin \theta$$

45 これにより、接触部 102A は、内周表面 W1 を所定の周期 ($1/f_2$) でタッピングする。なお、式中の t は時間を示す。

(4) 加振手段 103A によりスタイラス 102 を軸方向に振動させるとともに、接触部 102A で内周表面 W1 をタッピングしながら、制御手段 31 により内周表面 W

1 の走査を開始する。

【0039】(5) 走査の間、制御手段31は検出回路5からの振幅情報値 A_n に基づいて指令速度ベクトル V_n を適宜調整し、支持体23を移動させてタッチ信号プローブ100が内周表面W1に沿って移動するようにするとともに、検出回路5からの振幅情報値 A_n および制御手段31からの実位置 r_n が、各測定点 $n=0\sim m$ 毎の情報値群 $A_0\sim A_m$ および実位置群 $r_0\sim r_m$ としてパーソナルコンピュータ6に蓄積されてゆく。

(6) 走査が完了したら、パーソナルコンピュータ 6 は、蓄積した振幅情報値群 $A_0 \sim A_n$ および実位置群 $r_0 \sim r_n$ から演算処理を行い、走査した内周表面 $W 1$ の各点に関する推定表面位置 $R_0 \sim R_n$ を算出する。以下、これらの走査および演算手順の詳細について説明する。

【0040】まず、走査にあたってのタッチ信号プローブ100の移動(倣い動作)について説明する。図4において、タッチ信号プローブ100の位置は r_{n-1} 、 r_n 、 r_{n+1} 、 r_{n+2} と移行するものとする。各位置 r_{n-1} 、 r_n 、 r_{n+1} 、 r_{n+2} は座標系の原点(0,0)からの位置ベクトル r 、 r_2

$$R^2 = v_{x_n}^2 + v_{y_n}^2 = v_{x_{n+1}}^2 + v_{y_{n+1}}^2$$

【0043】移動方向ベクトル V_n, V_{n+1} についてZ軸方向（スタイルス102の軸方向）の単位ベクトル e_z を用いベクトル積をとると次のようになる。

$$\mathbf{v}_n \times \mathbf{v}_{n+1} = \left(\sqrt{v_{xn}^2 + v_{yn}^2} \sqrt{v_{xn+1}^2 + v_{yn+1}^2} \sin \theta \right) \mathbf{e}_z \quad (2)$$

【0045】

$$\mathbf{v}_n \times \mathbf{v}_{n+1} = (\mathbf{v}_{xn}, \mathbf{v}_{yn}) \times (\mathbf{v}_{xn+1}, \mathbf{v}_{yn+1}) = (\mathbf{v}_{xn} \mathbf{v}_{yn+1} - \mathbf{v}_{xn+1} \mathbf{v}_{yn}) \mathbf{e}_z \quad (3)$$

【0046】、サンプリング時間間隔を小さくすれば向きの変化 θ も小さくなるから、 $\sin \theta \approx \theta$ と置くことができ、この式(2)の変形と式(3)とにより次のようにおく

$$\sqrt{v_x^2 + v_y^2} \sqrt{v_{x+1}^2 + v_{y+1}^2} \theta - v_x v_{y+1} - v_{x+1} v_y = P_n \quad (4)$$

【0048】タッチ信号プローブ100の移動は、内周表面W1の走査にあたって、どの位置でも所定の接触状態で、つまり接触による振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s を保つように行われる必要がある。つまり、図5のように、各点 $r_{n-1} \sim r_{n+2}$ において、各々での振幅情報値 $A_{n-1} \sim A_{n+2}$ と基準情報値 A_s との差 $(A_{n-1} - A_s \sim A_{n+2} - A_s)$ が

$$P_n = k(A_n - A_s)$$

【0050】以上より、移動方向ベクトルの成分 $V_{x_{n+1}}, V_{y_{n+1}}$ は次のように求めることができる。

$= (x_n, y_n)$ の形で表現される。図中各点の両側に延びる矢印はタッピング動作の振動を表す。ここで、点 r_n から次の点 r_{n+1} へ移動する際の移動方向ベクトル（これに基づいて制御手段 3-1 は指令速度ベクトルを逐次設定する）の決定は次のように行われる。

05 の決定は次のように行われる。

【 0 0 4 1 】 n 番目の測定点において、検出手段 5 の検出信号から得られる振動の振幅情報を A_n とし、この時のタッチ信号プローブ 1 0 0 の位置情報を実位置 $r_n = (x_n, y_n)$ とする。同様に、n+1 番目の測定点において、検出手段 5 の検出信号から得られる振動の振幅情報を A_{n+1} とし、この時のタッチ信号プローブ 1 0 0 の位置情報を実位置 $r_{n+1} = (x_{n+1}, y_{n+1})$ とする。これらから、点 r_n から点 r_{n+1} への移動方向ベクトルは $v_{n+1} = (x_{n+1} - x_n, y_{n+1} - y_n) = (v_{x, n+1}, v_{y, n+1})$ となる。一つ前の測定点については同様に $v_n = (x_n - x_{n-1}, y_n - y_{n-1}) = (v_{x, n}, v_{y, n})$ となる。従って、移動方向ベクトルを大きさ一定にすると次のようになる。

【0042】

【数 1】

【 0 0 4 4 】

【数2】

ことができる。

【0047】

【数4】

あるとしたら、これらが消えるように制御する必要がある。ここで、式(4)の P_n は A_n に依存することから、 $\theta = 0$ 付近では比例定数 k を用いて次のように表せる。

【0049】

40 【数5】

(5)

【 0 0 5 1 】

45 【数6】

$$\begin{aligned}
 R^2 &= v_{xn+1}^2 + \left(\frac{v_{xn+1}v_{yn} + P_n}{v_{xn}} \right)^2 \\
 v_{xn+1}^2 + 2P_n \frac{v_{yn}}{R^2} v_{xn+1} + \left(v_{xn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\
 v_{xn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} v_{yn} \pm v_{xn} \sqrt{1 - \left(\frac{P_n}{R^2} \right)^2}
 \end{aligned}$$

(6)

【0052】 10 【数7】

$$\begin{aligned}
 R^2 &= v_{yn+1}^2 + \left(\frac{v_{yn+1}v_{xn} + P_n}{v_{yn}} \right)^2 \\
 v_{yn+1}^2 + 2P_n \frac{v_{xn}}{R^2} v_{yn+1} + \left(v_{yn}^2 - \frac{P_n^2}{R^2} \right) &= 0 \\
 v_{yn+1} &= -\frac{P_n}{R^2} v_{xn} \pm v_{yn} \sqrt{1 - \left(\frac{P_n}{R^2} \right)^2}
 \end{aligned}$$

(7)

【0053】更に、これらの式(6)、式(7)を整理する 20 【0054】
と、最終的に次のように表すことができる。 【数8】

$$\begin{aligned}
 v_{xn+1} &= -Q_n v_{yn} \pm v_{xn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\
 v_{yn+1} &= -Q_n v_{xn} \pm v_{yn} \sqrt{1 - Q_n^2} \\
 \left(Q_n = \frac{P_n}{R^2} = \frac{k(A_n - A_s)}{R^2} \right)
 \end{aligned}$$

(8)

【0055】このように、n番目の点（位置ベクトル V_n ）からn+1番目の点（位置ベクトル V_{n+1} ）への移動は、その時の振幅情報値 A_n を用いて決定することができる。通常、このような処理はデジタル演算処理により行われるため、離散化誤差が発生し、値 R に影響することが予測されるが、値 R を所定の大きさとなるように随時補正してゆくことで解決できる。以上のように、タッチ信号プローブ100の微い動作の制御が行われ、この際前述のように求められる移動方向ベクトル V_{n+1} に基づいて制御手段31から指令速度ベクトルとして支持体23を移動させればよい。また、移動方向ベクトル V_{n+1} は内周表面W1に沿った形となるので、タッピングの振動方向はこの移動方向ベクトル V_{n+1} に直交する方向へ向くように修正していれば、常時内周表面W1を法線方向に叩く形にできる。従って、被測定物の形状が既知でない場合でも走査が可能であり、常に測定表面をその法線方向へ確実にタッピングすることができる。

【0056】次に、上述のような走査の間に、各測定点でのサンプリングにより得られる振幅情報値 A_n と実位置 r_n （蓄積された振幅情報値群 $A_0 \sim A_m$ と実位置群 $r_0 \sim r_m$ ）から内周表面W1の推定表面位置 R_n （ $R_0 \sim R_m$ ）を演算する処理について説明する。

【0057】図6において、タッチ信号プローブ100の出力信号には次のような性質がある。タッチ信号プローブ100のスタイラス102が内周表面W1に接触していない状態(A)では、タッチ信号プローブ100の実位置 r_n はスタイラス102の軸線位置を指しており、この位置は先端の接触部102Aの中心位置に一致している。接触部102Aが内周表面W1に接触した状態(B)になると、内周表面W1からの反力としての接触力 F_1 が僅かに生じる。この状態では、内周表面W1位置は、実位置 r_n と接触部102Aの球状の半径 D （スタイラス102の軸線からのオフセット量）との和で計算できる。スタイラス102が更に内周表面W1に押付けられると、接触力 F_2 が大きくなり、スタイラス102が撓んだ状態(C)となる。この状態ではスタイラス102の軸線位置と接触部102Aの中心位置とがずれ、接触部102Aの中心位置は制御手段31から読み出せる実位置 r_n とは異なる状態になる。このずれ量が押込み量 d_n であり、この値を無くすか常時一定にするかしないと正確な測定ができない。

【0058】図7において、前述した図6(A)の状態では接触部102Aと内周表面W1とは接触しておらず、50 どの位置にあってもスタイラス102は振動 f_1 の共振

状態にあり、検出回路 5 から得られるスタイラス 102 の振動振幅情報値 A_n は最大値 A_0 で一定である。前述した図 6 (B) のように、接触部 102 A が内周表面 W1 に接触すると、スタイラス 102 の共振状態が崩れ、振動が抑制されて振幅情報値 A_n は減少する。振幅減少は内周表面 W1 からの接触力が強くなるほど、つまり押込み量が大きくなるほど顕著となる。この際の比例関係は感度勾配 k_s で表すことができる。

【0059】このような関係から、振幅情報値 A_n が所定の基準情報値 A_s となるように常に制御すれば、前述した押込み量 d_n の一定化による精度確保が可能である。具体的には、振幅情報値 A_n が所定の基準情報値 A_s となるよう

$$A_n = k_s |d_n| + A_0$$

【0061】従って、押込み量のスカラー $|d_n|$ は次のようになる。

$$|d_n| = \frac{A_n - A_0}{k_s}$$

【0063】更に、接触部 102 A の球状の半径 D を考慮して推定表面位置のスカラー $|R_n|$ を推定すると次のようになる。

$$|R_n| = |r_n| - |d_n| + D = |r_n| - \frac{A_n - A_0}{k_s} + D$$

【0065】以上の処理を各測定点毎に行えば、全ての測定対象表面の接触位置推定が可能となる。なお、前述した説明ではタッチ信号プローブ 100 の性質を変位に対応した一定の感度勾配 k_s としたが、実際には一定とは限らない。このため、より実際に即した関数等による特性表現あるいは特性テーブルを採用すれば一層の精度向上が可能である。以上、推定表面位置のスカラー $|R_n|$ を推定する手順について述べたが、続いて、方向も加味した実際の推定表面位置 R_n の推定について説明する。

【0066】図 4 に示した走査が終了すると、パーソナルコンピュータ 6 には振幅情報値群 $A_0 \sim A_n$ および対応する実位置群 $r_0(x_0, y_0) \sim r_n(x_n, y_n)$ が蓄積されている。これらの蓄積データから次のようにして内周表面 W1 の推定表面位置 $R_0 \sim R_n$ が得られる。まず、推定表面位置 R_n を求める場合、実位置 r_n に対して前後の実位置 r_{n-1}, r_{n+1} を用い、接触力が 0 の状態の位置ベクトル R'_n と、これを正規の位置ベクトル R_n に補正する方向を決定する。

$$i_n = \frac{h_n}{|h_n|}$$

【0069】前述した式 (11) に上の式 (12) の向きを与えることで r_n から R'_n が計算できる。

$$R'_n = r_n - d_n i_n$$

に維持しようとしても、スタイラス 102 の移動は予測制御であるため基準情報値 A_s 近傍の A_n のように少しずれた状態になるものとする。以上より、前述した実位置 r_n 、振幅情報値 A_n 、基準情報値 A_s の関係から、押込み量 d_n を算出することができ、更に接触部 102 A の球状の半径 D を加味して内周表面 W1 の推定表面位置 R_n が算出できることになる。押込み量のスカラー $|d_n|$ と振幅情報値 A_n との関係は、感度勾配 k_s 、最大振幅値 A_0 から次のようになる。

【0060】

【数 9】

(9)

【0062】

【数 10】

(10)

【0064】

【数 11】

(11)

【0067】図 8 に示すように、補助線ベクトル $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$ とおくと、これに垂直なベクトル $h_n = (y_{n+1} - y_{n-1}, -(x_{n+1} - x_{n-1}))$ が存在する。なお、図において、補助線ベクトル h'_n が測定表面の対応位置の接線方向に略並行していることから、垂直なベクトル h_n は測定表面の対応位置に直交する方向となることが解る。この方向のうち、位置ベクトル R'_n への補正の向きを考えると、倣い測定中の振幅情報に対応する制御の向きが決定されたようにして一つの向きを選択することが可能である。選択の方法はこれに限らず、例えば通常測定表面は倣い測定の進行方向のどちら側か解っているから、これに基づいて何れか一つの向きを選択してもよい。こうして選択したベクトルから補正する向きの単位ベクトル i_n を求める。

【0068】

【数 12】

(12)

【0070】

【数 13】

(13)

【0071】更に、オフセット量である接触部 102 A の球状の半径 D を考慮して推定表面位置 R_n を推定すると

次のようになる。

【0072】

$$R_n = R'_n + D \cdot i_n - r_n - (d_n - D) \cdot i_n - r_n - \left(\frac{A_n - A_0}{k_n} - D \right) \cdot i_n \quad (14)$$

【0073】以上により得られる R_n の集合($R_0 \sim R_m$)により測定表面(内周表面W1)の推定形状が得られる。なお、前述の手順では、前後の測定点の情報を用いるため、端の点(0番目とm番目)についての測定表面位置(R_0, R_m)は得られないことになるが、この場合には端位置を拡大する等で有効範囲を広げればよい。

【0074】以上のような第1実施形態によれば、スタイラス102を被測定物の表面に接触させた後、前記表面の走査により各点の振幅情報値 A_n 、実位置 r_n が収集され、これらから各点の推定表面位置 R_n を演算することができる。この際、スタイラスは各点の振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s になるように表面との距離を制御されるが、振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s に収束するまで各点で留まるものではなく、従来のような収束時間はかからない。一方、各点の推定表面位置 R_n は、実位置 r_n を振幅情報値 A_n で補正する形で導くことができ、スタイラスが振幅情報値 A_n =基準情報値 A_s の位置に達することがなくとも正確な値を得ることができる。

【0075】走査の際、移動のための指令速度ベクトル V_{n+1} は、直前の値 V_n と当該 V_{n+1} との外積のスカラーを前記振幅情報値 A_n と前記基準情報値 A_s との差に比例定数 k 倍した値と等価とすることで決定されるようにしたので、前述した振幅情報値 A_n が基準情報値 A_s に近づくようにスタイラスを移動させる制御を簡単かつ適切に行うことができる。

【0076】演算の際、推定表面位置 R_n は、実位置 r_n に対して次の実位置 r_{n+1} を確定した後、前記実位置 r_n を始点とし、前記振幅情報値 A_n に対応した大きさで、前記次の実位置 r_{n+1} および一つ前の実位置 r_{n-1} を結ぶ直線と直交する向きに補正された位置とするようにしたので、簡単な演算で精度良く推定表面位置 R_n を得ることができる。

【0077】演算の際、推定表面位置 R_n は、振幅情報値 A_n に対応した大きさに更にスタイラス102の接触部102Aのスタイラス軸に対するオフセット量 D を加味することで、スタイラス軸位置に対して実際の接触位置の距離を加味することができ、正確な位置測定ができる。

【0078】走査と演算の処理については、先に前記測定すべき表面に対する走査を完了し、その間に前記表面に関する必要な全ての前記振幅情報値 A_n とこれに対応する実位置群 $r_0 \sim r_m$ とから前記演算を行って推定表面位置群 $R_0 \sim R_m$ を得るようにしたので、情報値 $A_0 \sim A_m$ 、実位置 $r_0 \sim r_m$ を検出する走査工程と、推定表面位置群 $R_0 \sim R_m$ を演算する演算工程とを

【数14】

別個に順次行えるため、並行して行う場合よりも制御を簡略にでき、かつ相互の動作タイミングを考慮しないでよい。また、各々における動作を最速になるように調整できる。

10 【0079】更に、本実施形態では、スタイラス102を軸交叉方向に周波数 f 2で共振させることでタッピング方式とすることができるとともに、走査の際には、タッピング用の振動(周波数 f 2)が所定の位相にある時に検出回路5から出力される検出信号の振幅情報値 A_n をラッチし、このラッチした振幅情報値 A_n を基準情報値 A_s と比較して制御を行うようにしたので、正確な制御を実現することができる。

【0080】この際、スタイラス102におけるタッピング用の振動(周波数 f 2)の方向は、スタイラス102の軸方向に略直交するとともに、走査する工程での支持体23の移動方向(測定表面の方向、倣い方向)と略直交しているものとし、かつこの振動は直線的であるとしたため、適切なタッピング動作を実現することができる。

25 【0081】次に、本発明の第2実施形態について説明する。本実施形態は前述した第1実施形態と装置構成、走査の手順等は同じであり、演算手順の最終段階である推定表面位置 R_n の算出手順が異なるものである。このため、異なる部分である推定表面位置 R_n の算出手順のみ説明し、他の共通部分は説明を省略する。図9には本実施形態の推定表面位置 R_n の算出手順が示されている。前記第1実施形態では補助線ベクトル $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$ と設定したが、本実施形態では補助線ベクトル $h'_n = r_n - r_{n-1}$ と設定する。その後の演算は前記第1実施形態と同じでよい。

35 【0082】このような第2実施形態によれば、前記第1実施形態のように次の実位置 r_{n+1} が必要ないため、検出データを直ちに演算処理することができる。すなわち、前記第1実施形態のように先に全ての測定点に関する検出データ(振幅情報値 A_n および実位置 r_n)を蓄積しておき、後でまとめて推定表面位置 R_n を演算する場合には、次の実位置 r_{n+1} は容易に得られる。しかし、検出データを蓄積せずに、各測定点で測定する都度、推定表面位置 R_n を演算する場合、次の実位置 r_{n+1} は次の測定点に移行するまで得られない。しかし、本実施形態のような演算手法を用いることで、検出データを蓄積しない処理を行う場合でも確実に演算処理を行うことができる。

40 【0083】次に、本発明の第3実施形態について説明する。本実施形態は前述した第1実施形態と装置構成、走査の手順等は同じであり、演算手順の最終段階である

推定表面位置 R_n の算出手順が異なるものである。このため、異なる部分である推定表面位置 R_n の算出手順のみ説明し、他の共通部分は説明を省略する。図10には本実施形態の推定表面位置 R_n の算出手順が示されている。前記第1実施形態では補助線ベクトル $h'_n = r_{n+1} - r_{n-1}$ を設定し、前記第2実施形態では補助線ベクトル $h'_n = r_n - r_{n-1}$ を設定し、各々から垂直なベクトル h_n を導いて演算を行った。これに対し、本実施形態では、 r_n 近傍の複数の測定点(r_{n-1} 、 r_n 、 r_{n+1} 、 r_{n+2} 等)を選択し、各点に基づいて近似曲線 C_n を設定し、この近似曲線 C_n 上の実位置 r_n に最寄の点へ実位置 r_n から垂線を下ろし、この垂線を垂直なベクトル h_n とする。その後の演算は前記第1実施形態と同じでよい。

【0084】このような第3実施形態によれば、前記第1実施形態よりも多数の測定点(r_{n-1} 、 r_n 、 r_{n+1} 、 r_{n+2} 等)を用いて垂直なベクトル h_n を導くことができ、測定精度を一層向上することができる。特に、前記第1実施形態と同様に先に走査を行って検査データを蓄積しておき、後でまとめて演算処理を行う場合には複数の測定点のデータが簡単に利用できるため、容易に高精度化が図れる。

【0085】次に、本発明の第4実施形態について説明する。図11に示すように、本実施形態の装置構成は前記第1実施形態とほぼ同一であるが、支持体23にはタッチ信号プローブ100を任意姿勢に回転、傾斜させる姿勢操作手段24を有するとともに、コントローラ3は姿勢制御手段33を有し、これらによってワークWの内周表面W1の傾斜に応じてタッチ信号プローブ100の姿勢を操作する点が相違する。

【0086】実際の測定においては、ワークWの内周表面W1の走査に先立って、タッチ信号プローブ100の姿勢を操作する必要があり、ワークWの内周表面W1の傾斜に関する情報が必要となる。これに対しては、予めワークWの内周表面W1の複数箇所の位置測定を行っておくか、あるいはワークWの設計データ(CADデータ)を利用して内周表面W1の形状を割出しておけばよい。ワークWの内周表面W1の走査においては、スタイラス102と内周表面W1との相対位置関係については第1実施形態と同様になるようにするが、本実施形態においては内周表面W1に傾きがあるため、支持体23のX軸駆動機構とY軸駆動機構との他にZ軸駆動機構も制御手段31により制御して走査を行う。

【0087】本実施形態において、その他の装置構成は第1実施形態と同様であるので、ここでは説明を省略する。スタイラス102と内周表面W1との相対位置関係は第1実施形態と同様であるので、第1実施形態における走査方法や第2実施形態、第3実施形態による推定表面位置 R_n の演算手順を適用することができる。本実施形態においては、姿勢操作手段24と姿勢制御手段33を有するので、前もって内周表面W1の傾斜情報を得てお

くことで、接触部102Aにより常に内周表面W1の法線方向にタッピングを行うことができる。

【0088】尚、本発明は、前述の各実施形態に限定されるものではなく、以下に示すような変形をも含むものである。前記各実施形態に係る表面形状測定方法は、円筒状のワークWの内周表面W1の測定を行うために利用されていたが、被測定物としてはこれに限らない。すなわち、円筒状のワークWの外周表面や、他の複雑な三次元形状を有するワークの連続測定を行うために本発明を利用してよい。

【0089】また、前記各実施形態では、加振手段および第2加振手段を圧電素子103A、110から構成していたが、これに限らず、他の構造により加振手段および第2加振手段を構成してもよい。要するに、スタイラスを軸方向および軸に直交する方向に所定の周波数で振動させることができる加振手段および第2加振手段であれば、他の構成を採用してもよい。

【0090】更に、前記各実施形態では、タッチ信号プローブを移動させてワークを測定していたが、ワークを載置したXYZテーブルを移動させて測定を行ってもよい。また、姿勢操作手段は支持体に設けるものに限らず、XYZテーブルのワーク載置面に姿勢操作手段を設ける等してワークの姿勢を操作するようにしてもよい。その他、本発明の実施の際の具体的な構造および形状等は、本発明の目的を達成できる範囲で他の構造等としてもよい。

【0091】更に、接触検出プローブの具体的な形式、特にスタイラス先端の形状などは適宜選択すればよく、前記第1実施形態のように球状の接触部102Aならその半径をオフセット量 r とすればよく、他の形状であれば基準軸線から接触位置までのオフセット量を考慮すればよい。また、前記各実施形態ではタッピング動作を行うプローブとしたが、これを行わない微い動作だけの測定にも本発明は利用できる。この場合、前記各実施形態の第2の加振手段等は適宜省略すればよい。

【0092】

【発明の効果】前述したように、本発明の表面形状測定方法によれば、プローブを測定点毎に安定させるのではなく、検出データの処理により推定表面位置を算出できるようにしたため、振動式の接触検出における被測定物の接触点毎の収束時間の影響を回避し、測定精度を高く維持しつつ作業効率を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態の全体構成を示す概略ブロック図である。

【図2】前記第1実施形態の要部を示すブロック図である。

【図3】前記第1実施形態の測定状態を示す模式平面図である。

【図4】前記第1実施形態の走査手順を示す模式平面図

である。

【図5】前記第1実施形態の走査における検出信号の変化を表すグラフである。

【図6】前記第1実施形態のスタイラス先端の接触状態を示す模式立面図である。

【図7】前記第1実施形態のスタイラス先端の接触状態に応じた検出信号の変化を表す模式図である。

【図8】前記第1実施形態の演算手順を示す模式平面図である。

【図9】本発明の第2実施形態の演算手順を示す模式平面図である。

【図10】本発明の第3実施形態の演算手順を示す模式平面図である。

【図11】本発明の第4実施形態の要部を示すブロック図である。

【図12】従来のタッチ信号プローブのスタイラス部分を示す斜視図である。

【符号の説明】

1 内外側面測定装置

5 検出手段

6 パーソナルコンピュータ

23 支持体

24 姿勢操作手段

31 制御手段

33 姿勢制御手段

100 タッチ信号プローブ

05 101 スタイラスホルダ

102 スタイラス

102A 接触部

103A 加振手段

103B 検出手段

10 110 第2加振手段

A_n 振幅情報値

$A_0 \sim A_m$ 振幅情報値群

A_n 基準情報値

D オフセット量である半径

15 d_n 押込み量

R_n 推定表面位置

$R_0 \sim R_m$ 推定表面位置群

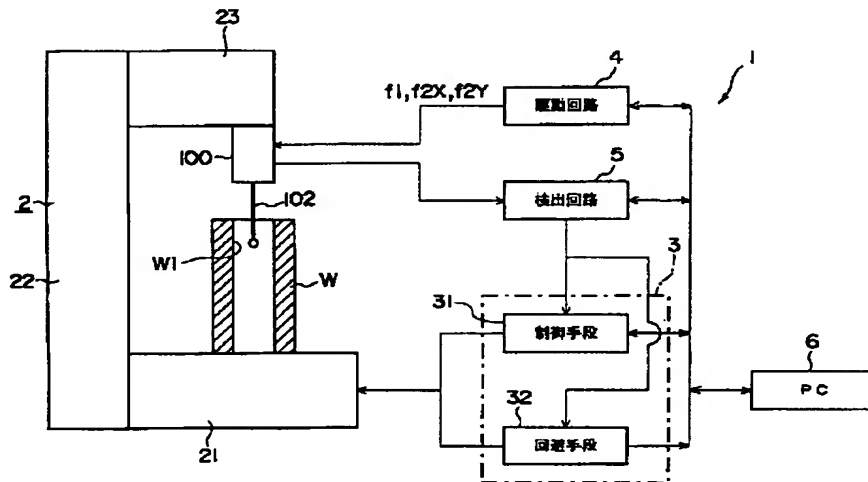
r_n 実位置

$r_0 \sim r_m$ 実位置群

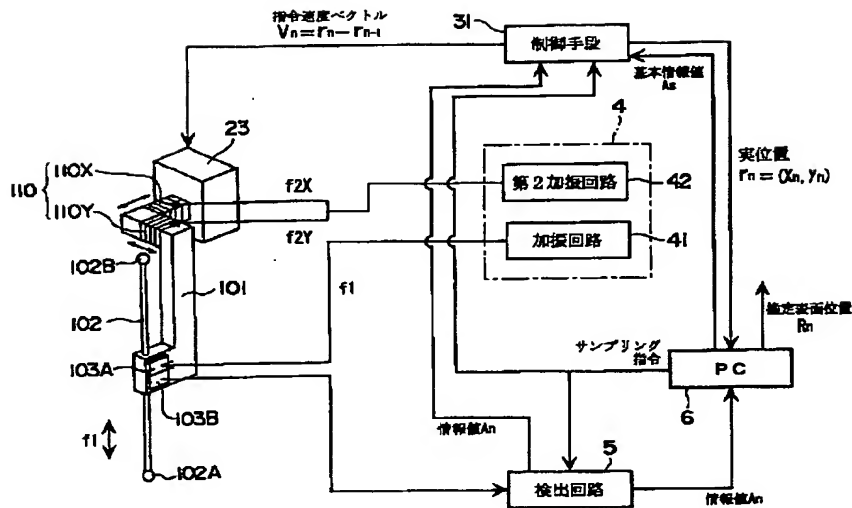
20 W 被測定物であるワーク

W1 測定表面である内周表面

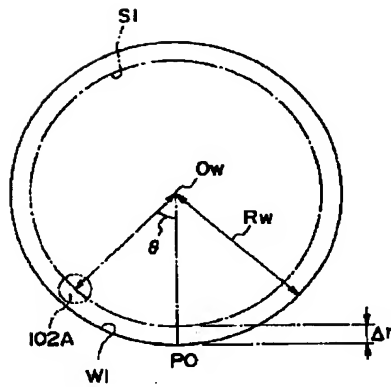
【図1】



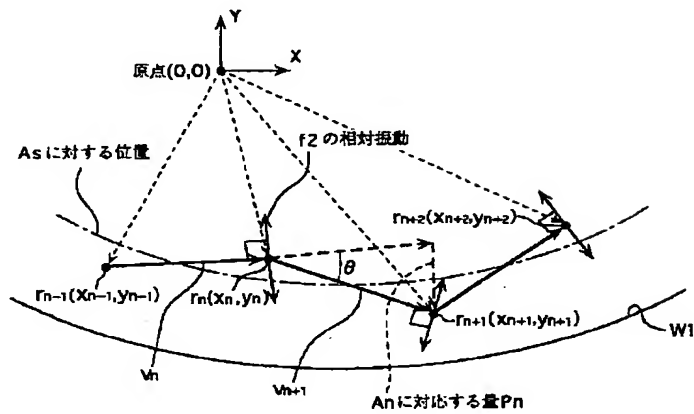
【図 2】



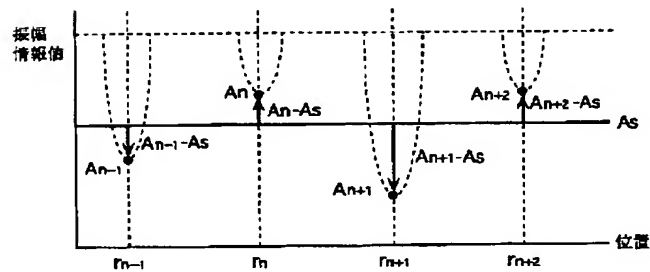
【図 3】



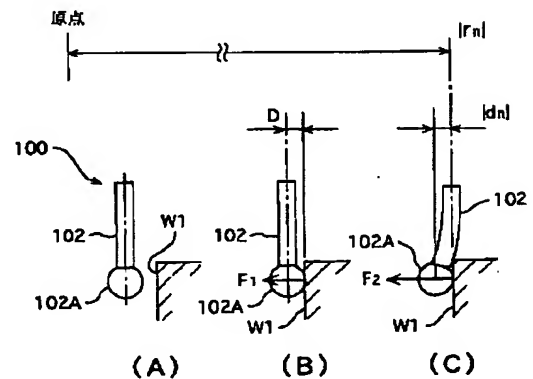
【図 4】



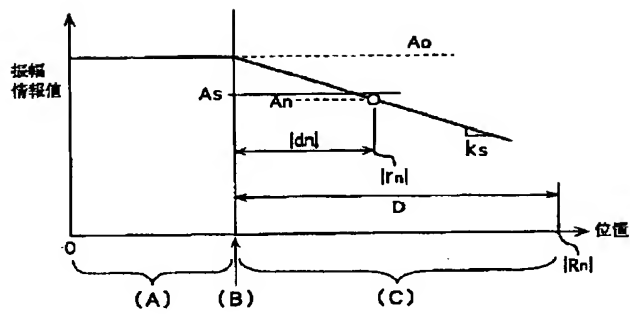
【図 5】



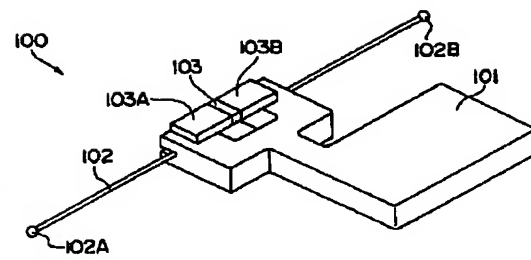
【図 6】



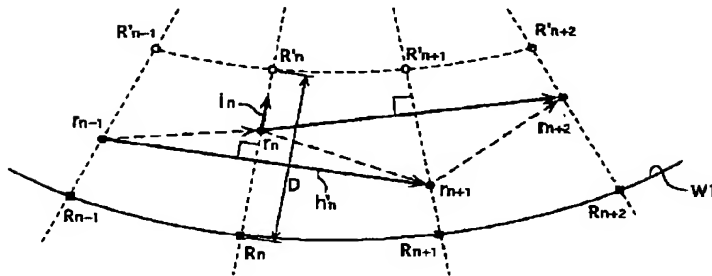
【図 7】



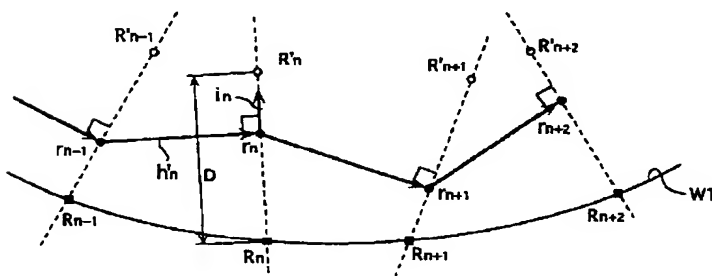
【图 12】



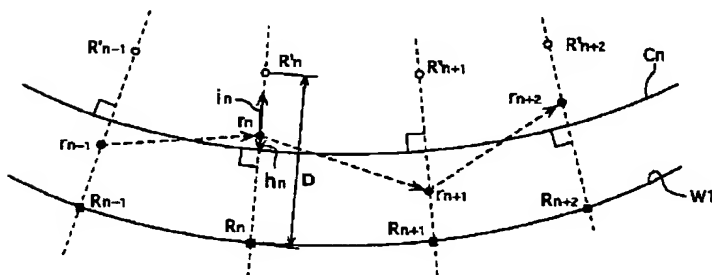
【图8】



【図9】



【図 10】



【図 11】

